

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: 4106T019 Agroekologie – Péče o krajinu
Katedra: Agroekosystémů
Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv technologie kompostování biologicky rozložitelných odpadů na kvalitu
kompostu

Vedoucí diplomové práce
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor diplomové práce:
Bc. Zdeněk Dvořák

České Budějovice

2018

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

.....

Bc. Zdeněk Dvořák

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Katedra: Agroekosystémů

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Zdeněk Dvořák
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: 4106T019 Agroekologie – Péče o krajinu
Název tématu: Vliv technologie kompostování BRO na kvalitu kompostu

Zásady pro vypracování:
(v zásadách pro vypracování uveďte cíl práce a metodický postup)

Cílem práce je navržení optimální technologie kompostování. Kompostování biologicky rozložitelných organických odpadů umožňuje recyklaci jejich organického podílu do půdy. Úkolem technologie kompostování je dosažení optimální transformace organických frakcí a získání produktu vysoké kvality. Vstupním materiálem budou různé biologicky rozložitelné organické materiály. Vypracujte literární rešerši na téma „Kompostování biomasy: a) Kompostování biologicky rozložitelných organických materiálů a hmot b) Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu c) Kontrola průběhu kompostovacího procesu a kvality výsledného produktu d) Vermikopostování e) Sorpční a iontovýměnná schopnost půdy (kompostu) f) Strojní vybavení pro kompostování g) Legislativa hodnocení kvality kompostů h) Registrace kompostu e) Ekonomika kompostování BRO. Ve vzorcích kompostů (z kompostárny Písek) stanovte vhodnou metodu kvalitu kompostu (např. T max podle Sandhoffa). Výsledky statisticky vyhodnoťte a diskutujte. Na základě studia literatury a vlastních výsledků navrhnete „Optimální technologii kompostování biologicky rozložitelných organických materiálů a hmot v kompostárně Písek z pohledu kvality produktu a jeho ekonomiky. Diplomovou práci vypracujte dle Opatření děkana č. 4 ze dne 14. 3. 2014. Při jejím zpracování využijte publikaci Prof. Kalače – Jak vypracovat diplomovou práci v zemědělských oborech (2009) a materiály Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš J., Vaněček D., Burešová M., 2007) a Práce s VTI (Milota J., Nýdl V., 1996).

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: cca 40-60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Zhang, L., Sun, X.Y. (2014): Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, 171, 274-284; Wu, T.Y. et al. (2014): Biotransformation of Biodegradable Solid Wastes into Organic Fertilizers using Composting or/and Vermicomposting, *Chemical Engineering Transactions*, 39, 1579-1584; Raj D., Antil R. S. (2011): Evaluation maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource technology*, 102, 2868-2873; Benito M et al. (2006): Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology*, 97, 2071-2076; Szmíd, R. A. K., Fox, C. (2001): Interdependencies for process control and compost quality. *Acta Horticulturae*, 549, 55-60; Bastioli, C. (1998): Biodegradable materials - Present situation and future perspectives. *Macromolecular Symposia*, 135, 193-204; Váchalová R. (2012): Aerobní zpracování biomasy. ZF JU v Č. B. Studijní texty, 150 s.; Slejška A. a kol. (2009): Vlastnosti a složení zahradních kompostů v České republice. *Biom.cz* [online]. 2009-10-07 (cit. 2014-02-19); Kollárová M. a kol. (2008): Kompostování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů. VÚZT Praha, 24 s.; Váňa J.: Kompostování odpadů. In: Váňa J., Balík J., Tlustoš P. (2009): Pevné odpady, ČZU Praha; Plíva P. a kol. (2006): Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT Praha, č. 1, 65 s.; Plíva P. a kol. (2005): Technika pro kompostování v pásových hromadách, VÚZT Praha, č. 1, 72 s.; Plíva P. a kol. (2008): Strojní vybavení kompostovací linky. VÚZT Praha, 16 s.; Jelínek A. a kol. Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem. Praha 2002, 74 s.; Hanč, A., Plíva, P. (2013): Vermikompostování bioodpadů. Praha ČZU, 35 s. Zbiral J. (1995, 1996, 1997): Analýza půd I, II, III. Jednotné pracovní postupy. ÚZKUZ Brno; ČSN 465735 Průmyslové komposty; Zethner, G., Götz, B., Amlinger, F.: Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung. Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), Wien, 363 s., 2000; + další doporučená literatura

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 15. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2018

L. S.

Doc. Ing. Petr Konvalína, Ph.D.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
Děkan

V Českých Budějovicích dne 15. března 2017

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a všestrannou pomoc při sestavování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval vedoucímu odboru životního prostředí v Písku panu Ing. Miloslavu Šatrovi a panu Romanu Márovi za poskytnuté podklady o městské kompostárně Písek.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá kompostováním a způsoby nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a biologicky rozložitelnými komunálními odpady. Vysvětlení pojmů spojených s kompostováním a zpracováním BRO a BRKO a rozdílem mezi humusem a primární organickou hmotou a jejím složením. Dále kvalitativními a kvantitativními znaky kompostu, surovinovou skladbou zakládky a faktory ovlivňujícími samotný proces tlení.

Praktická část diplomové práce popisuje kvalitu kompostu z městské kompostárny Písek, popis kompostárny, a popis prováděného kompostovacího procesu. Hlavní částí a samotným cílem práce je stanovení iontovýměnné kapacity T podle Sandhoffa a navržení optimálního kompostovací technologie v Městské kompostárně Písek.

Klíčová slova: biologicky rozložitelný odpad, biologicky rozložitelný komunální odpad, kompostování, kompost, humus, iontovýměnná kapacita.

Abstract

The thesis deals with composting and ways of handling biodegradable waste and biodegradable municipal waste. It explains the terms related to composting and processing of BW and BMW and clarifies the difference between humus and primary organic matter and its composition. Furthermore, the thesis covers qualitative and quantitative features of compost, raw material composition of the dump, and factors influencing the process of decomposition itself.

The practical part of the thesis describes the quality of the compost from the municipal composting plant Písek. This part also includes a description of the composting plant and a description of the composting process.

The main part and the goal of the thesis is to determine the ion-exchange capacity T according to Sandhoff and to suggest the optimal composting technology in the Municipal composting plant Písek.

Key words: biodegradable waste, biodegradable municipal waste, composting, compost, humus, ion-exchange capacity

Obsah

1. Úvod	11
2. Literární přehled	12
2.1 Legislativa České republiky	12
2.1.1. Odpad	12
2.1.2. Odpadové hospodářství	13
2.1.3. Biologicky rozložitelný odpad	13
2.1.4. Komunální odpad	13
2.1.5. Přehled platné právní úpravy v České republice:	13
2.2. Legislativa Evropské unie	13
2.2.1. Přehled některých předpisů EU:	14
2.3. Biomasa	14
2.3.1. Mineralizace	14
2.3.2. Humifikace	15
2.3.3. Organická hmota a humus	15
2.3.4. Kvalitativní znaky primární organické hmoty	16
2.3.5. Huminy	17
2.3.6. Huminové látky	17
2.3.7. Sorpční schopnost půdy (kompostu)	18
2.4. Biologicky rozložitelný odpad (BRO)	18
2.4.1. Odpady z rostlinné výroby	19
2.4.2. Odpady živočišného původu	19
2.5. Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO)	19
2.6. Způsoby nakládání s biologicky rozložitelnými odpady	20
2.6.1. Digesce (fermentace)	21
2.6.2. Anaerobní digesce	21
2.6.3. Alkoholová digesce	22

2.6.4. Biologické sušení	23
2.6.5. Mechanicko-biologická úprava	23
3. Kompostování	23
3.1. Průběh aerobního kompostování	24
3.2. Faktory ovlivňující kompostování	25
3.2.1. Poměr C:N	25
3.2.2. Teplota	26
3.2.3. Vlhkost	26
3.2.4. Hodnota pH	27
3.2.5. Suroviny pro založení kompostu	28
3.3. Technologie a řízení kompostování.....	29
3.3.1. Kompostování na volné ploše v pásových hromadách	30
3.3.2. Kompostování na volné ploše v plošných hromadách.....	30
3.3.3. Strojní vybavení pro kompostování na volné ploše	30
3.3.4. Intenzivní kompostování	32
3.3.5. Kompostování ve vacích.....	32
3.3.6. Vermikompostování.....	33
3.4. Kontrola a hodnocení kvality výsledného produktu	34
3.4.1. Iontová a kationtová výměnná kapacita.....	34
3.4.2. Stanovení iontovýmenné kapacity	35
3.4.3. Legislativa hodnocení kvality kompostů	35
3.4.4. Registrace kompostu.....	36
3.5. Ekonomika kompostování biologicky rozložitelného odpadu.....	37
4. Vlastní práce – stanovení kvality kompostu v kompostárně Písek	38
4.1 Popis stavu bioodpadu ve městě Písku	38
4.1.1. Město Písek.....	38
4.2. Městská kompostárna Písek (MKP)	39

4.2.1. Stávající stav	40
4.2.2. Stavební vybavení a plocha kompostárny	40
4.2.3. Technologie kompostování v MKP	41
4.2.4. Strojní a technické vybavení kompostárny	41
4.2.5. Vyrobený produkt.....	45
4.4. Hodnocení kvality kompostu z městské kompostárny Písek.....	50
4.4.1. Stanovení maximální sorpční kapacity T konduktometricky dle Sandhoffa.....	50
4.4.2. Faktorizace hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$	50
4.4.3. Popis stanovení metody podle Sandhoffa	50
4.4.4. Výsledky:	51
4.5. Statistické zhodnocení výsledků analýzy kompostu z městské kompostárny Písek.....	72
4.5.1. Dixonův test extrémních odchylek	73
4.5.2. Výpočet mediánu.....	73
4.6. Diskuze	74
4.6.1. Porovnání výsledků iontovýměnné kapacity kompostů z městské kompostárny Písek a z kompostárny Březnice.	74
4.7. Návrh optimální technologie kompostování BRO, BRKO a org. materiálů v městské kompostárně Písek.....	77
4.8. Sledování poměru C:N při zakládce	78
4.9. Přídavek zeminy, urychlovačů	79
4.9.1. Možnost přídavku k organické hmotě, zeminy před nebo po kompostování při přípravě substrátu k expedici.....	79
5. Závěr:	80
6. Seznam citované literatury	81
6.1. Internetové zdroje	87

1. Úvod

Kompostování se v posledních letech setkává s velkým ohlasem, který mu po právu náleží. Jedná se totiž o výhodný a poměrně jednoduchý způsob zpracování přebytečných bioodpadů. V procesu používáme již nepotřebný materiál, ze kterého při dodržení správného postupu získáme velmi kvalitní substrát. Tento substrát je pak dále velmi dobře použitelný jako hnojivo s vysokým podílem organické hmoty, která příznivě působí na strukturu půdy právě v podobě organominerálních půdních koloidů. Tyto koloidy, které jsou tvořené převážně huminovými kyselinami, fulvokyselinami, bílkovinami, ligninem, minerální částí a zlepšují podmínky pro půdní bakterie, a v neposlední řadě svými sorpčními a iontovýměnnými vlastnostmi také napomáhají udržet v půdě živiny minerálních hnojiv.

Zpracování biodegradabilní části komunálních odpadů v městských kompostárnách je perspektiva, která by v ČR měla pomoci splnit přání EU a úplně zastavit skládkování komunálních odpadů. Fakt, že biologicky rozložitelné odpady jsou místo jejich dalšího využití ukládány na skládky, s sebou nese řadu problémů a negativ.

V praktické části diplomové práce se budu věnovat kvalitě kompostu v městské kompostárně Písek, který se skládá z biologicky rozložitelných komunálních odpadů a z biomasy navezené z úpravy městské zeleně. Organický substrát, který bude produktem kompostárny, se využije jako organické hnojivo při obnově parků a parkové zeleně. Mimo to se očekává, že kompostárna poskytne dostatečné množství substrátu pro údržbu městské zeleně. Hlavní částí je stanovení iontovýměnné kapacity vyrobeného kompostu a navržení optimálního kompostovacího procesu pro městskou kompostárnu v Písku. Rok 2018 je posledním rokem, kdy městská kompostárna nemůže prodávat hotový substrát z důvodu čerpání evropských dotací, které pomohly kompostárnu realizovat. Příštím rokem si město slibuje, že nadprodukce kompostu bude opět využita občany města Písku, ti substrát využijí pro vlastní potřebu.

2. Literární přehled

2.1 Legislativa České republiky

Odpadové hospodářství je mladou, avšak rychle se rozvíjející oblastí národního hospodářství. Vyspělé země se začaly odpadovým hospodářstvím zabývat teprve v posledních 20–30 letech. V České republice do roku 1991 nebylo nakládání s odpady na legislativní úrovni nijak kontrolováno ani řízeno (MŽP 2008–2015). První zákon o odpadech vznikl až v roce 1991. Jedná se o zákon č. 238/1991 Sb. o odpadech a také o zákon č. 311/1991 Sb. o státní správě v odpadovém hospodářství (www.tretiruka.cz). O deset let později nabyl platnosti zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech v platném znění a o změně některých dalších zákonů. Je již propracovanější a obsáhlejší právní dokument, který byl novelizován v roce 2010 jako zákon č. 154/2010 Sb. O odpadovém hospodářství, který spočívá především v předcházení a omezování vzniku odpadů. Zákon č. 185/2001 Sb. v platném znění dále zahrnuje:

- shromažďování odpadů, sběr a výkup
- předprava odpadů
- třídění a úprava odpadů
- dočasné skladování odpadů
- využívání odpadů, především jejich recyklace a zhodnocování
- odstraňování odpadů

V české legislativě je pojem „odpad“ vymezen pomocí zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon musí být v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech (KIZLINK, 2014). Zákon 185/2001 Sb., o odpadech formuluje veškeré pojmy v odpadovém hospodářství. Některé z nich je pro tuto práci důležité definovat:

2.1.1. Odpad

Odpad je v § 3 odst. 1 z. odp. definován jako „každý movitý předmět, kterého se osoba zbavuje či je jejím úmyslem nebo povinností se jej zbavit.“

2.1.2. Odpadové hospodářství

Dále jen OH je „Činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností“.

2.1.3. Biologicky rozložitelný odpad

Dále jen BRO je „jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu“.

2.1.4. Komunální odpad

Dále jen KO je „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání“.

2.1.5. Přehled platné právní úpravy v České republice:

- zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech,
- zákon č. 477/2001 Sb., o obalech,
- zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech,
- vyhláška č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady,
- vyhláška č. 381/2001 Sb., Katalog odpadů,
- vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady,
- nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství ČR.

2.2. Legislativa Evropské unie

Jedním z klíčových cílů Evropské politiky je ochrana životního prostředí. Nejčastější implementací práv týkajících se politiky ochrany životního prostředí EU jsou tzv. nařízení, směrnice a rozhodnutí, která jsou závazná anebo také doporučení, která jsou nezávazná.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic, ukládá členským státům vytvořit národní programy předcházení vzniku odpadů. Dle stávajícího zákona č.185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění (MŽP 2008–2015).

Pětistupňová hierarchická škála pro nakládání s odpady:

1. Předcházení vzniku odpadů (Chovat se tak, abychom tvořili co nejméně odpadů)
2. Opětovné použití (Věci, které již nepotřebujeme, nevyhazovat, ale nalézt pro ně náhradní využití.
3. Materiálové využití (Třídít odpady v domácnosti, vyrábět z nich nové výrobky)
4. Jiné využití např. energetické (Ze zbytkových odpadů, které nelze jinak využít, vyrobit energii)
5. Odstranění (Do skládky ukládat pouze inertní odpady)

2.2.1. Přehled některých předpisů EU:

- směrnice č. 1999/31/ES o skládkách odpadu,
- rámcová směrnice Rady č. 75/442/ES o odpadech,
- nařízení EP a Rady č. 1774/2002, kterým se stanoví hygienická pravidla týkající se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě.

2.3. Biomasa

Pojem biomasa je definována jako hmota organického původu, zahrnuje tedy veškerou živou přírodu. V souvislosti s využíváním energetické biomasy se rozumí rostlinná biomasa především dřevo a různorodý dřevní materiál, popřípadě jiné energetické rostliny vhodné pro spalování, například zemědělské produkty a jejich zbytky nebo cíleně pěstované energetické rostliny (CELJAK, 2008). Zdroje energie z biomasy jsou různého původu, a proto je existence komplexního klasifikačního systému nezbytná. Jednou z možností, jak rozdělovat biomasu, je na základě primárních složek. Konkrétně se jedná o celulózu, hemicelulózu a lignin, procentuální obsah složek a jejich chování (KHAN *et al.* 2009).

2.3.1. Mineralizace

Mineralizace je proces rozkladu organických látek vedoucí ke vzniku anorganických (minerálních) forem. Minerální látky uvolňované při rozkladu organických látek jsou buď bezprostředně využívány mikroorganismy a rostlinami jako živiny, nebo se adsorbují na půdních koloidech, odkud mohou být později opět

uvolněny jako živiny, nebo tvoří nerozpustné minerální sloučeniny či se z půdy vyplavují (ŠIMEK, 2003). Při mineralizaci dochází k rozkladu humusotvorného materiálu přes řadu meziproduktů až na základní složky. Je to pochod, kterému podléhá více než 90 % humusotvorného materiálu. K rychlé mineralizaci dochází za aerobních podmínek, kde hlavním biotickým činitelem jsou bakterie. Je proto velmi intenzivní v půdách na zrnitostně lehkých substrátech s vysokým zastoupením nekapilárních pórů, tedy s výrazným provzdušněním. Mineralizace probíhá i za anaerobiózy, ovšem podstatně pomaleji. Optimální podmínky jsou ve středně humózních půdách při 60-70 % objemové vláhý (LEDVINA *et al.*, 1992).

2.3.2. Humifikace

Humifikace je charakterizována jako částečný rozklad organické hmoty s následnou syntézou meziproduktů tohoto rozkladu. Výsledkem těchto procesů je nová kvalita, kterou představují složité humusové látky tvořící podstatu trvalého neboli pravého humusu. Humifikační proces probíhá částečně v anaerobních podmínkách, za dostatku dusíku a za účasti půdních mikrobů. Humifikace v podstatě představuje velmi složité biochemické a enzymatické pochody, které nejsou ještě zcela objasněny (ŘÍMOVSKÝ, 1994).

V dnešní době převládá názor, že humusové látky mohou vznikat dvěma způsoby. První cesta zahrnuje biochemické modifikace transformace a rozklady existujících složek organických materiálů, především ligninu, vosků a fenolových kyselin. Druhou možností je, že humusové látky vznikají syntézou a polykondenzací molekul odštěpených z rostlinných prekurzorů. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma cestami spočívá v tom, že první cesta je založena na postupné oxidaci a degradaci existujících rostlinných polymerů, zatímco druhá cesta zahrnuje tvorbu nových makromolekul, které jsou samy po čase oxidativně degradovány. Je pravděpodobné, že v půdě probíhají oba dva procesy souběžně (POSPÍŠILOVÁ a TESAŘOVÁ, 2009).

2.3.3. Organická hmota a humus

Aby bylo možno posoudit kvalitu kompostu, musíme nejprve pochopit, z jakých složek se skládá a také si nastínit kvalitu, které by měl vyrobený kompost dosahovat, aby byl přínosný pro půdu. Kompost je ve své podstatě jeden z nejjednodušších způsobů, jakým se dají do půdy doplnit živiny, organická hmota a

spolu s ní i prekurzory humusu. Pokud přidáváme do půdy kompost, musíme znát jeho kvalitu a vědět jakých výsledků chceme dosáhnout (CESARO *et al.*, 2015).

Organickou složku půdy neboli SOM (soil organic matter), tvoří živé půdní organismy, mezi nimiž jsou rostlinní, živočišní i bakteriální zástupci, a neživý organický materiál, který je produktem dekompozice organických zbytků chemickou a biologickou cestou (SMOLÍKOVÁ, 1988; TAN, 2003). Jako humus se označuje pouze kompletně rozložená neživá hmota (SCHAUMANN, THIELE-BRUHN, 2011). Ve starší pedologické literatuře je jako humus označován souhrn všech neživých organických látek na povrchu půdy i v ní a podle různého stupně rozkladu se rozlišují formy humusu jako např. tangel, moder a mul (SMOLÍKOVÁ, 1988).

I v současné době se u humusu nadále rozlišuje nehumifikovaná a humifikovaná složka. Jako nehumifikovaná složka jsou obsaženy všechny látky uvolněné při rozkladu organických zbytků jako např. uhlovodíky, aminokyseliny, lipidy, proteiny, lignin a další látky, které jsou předmětem další degradace a zdrojem pro syntézu humifikované složky humusu, tzv. huminových látek (TAN, 2003). Předěl mezi nehumifikovanou a humifikovanou složkou není ostrý, v půdě lze nalézt primární nepozměněné biomolekuly i různé stupně přeměněných produktů. (SCHAUMANN, THIELE-BRUHN, 2011).

Dělení půdní organické hmoty na 3 základní skupiny podle (VALLY *et al.*, 1980)

1. Humusotvorný materiál (odumřelé zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů dosud nepřetransformované)
2. Meziprodukty rozkladu a syntézy (mezistupně přeměn humusotvorného materiálu – látky nespecifické)
3. Humus, resp. humusové látky (organická hmota transformovaná humifikačními pochody – látky specificky půdní).

2.3.4. Kvalitativní znaky primární organické hmoty

Kvalitativní zhodnocení primární organické hmoty není nijak složité, protože základem půdní úrodnosti i půdotvorných procesů je biologický faktor. Bez složitých mikrobiologických dějů a bez mikroorganismů bychom nemohli půdu půdou v žádném případě označit. A právě pro činnost a aktivitu mikroorganismů v půdě je velmi důležitá primární organická hmota, která je dostatečně labilní. Čím je totiž

primární organická hmota labilnější, tím je mikrobiální aktivita v půdě bohatší, a z toho důvodu jsou někteří vědci toho názoru, že labilní organická hmota je samostatný znak půdní úrodnosti. Avšak s těmito názory není možné zcela souhlasit, a to hlavně z toho důvodu, že jsou známé případy, kdy v půdě, která obsahuje převážně jen labilní organickou hmotu za příznivých podmínek (působení tepla, vody atd.), dojde k rychlému namnožení mikroorganismů a po velmi rychlém rozložení labilních složek půdy zbytek primární org. hmoty tvoří pouze stabilní složky, čímž stavy mikroorganismů v půdě rychle klesnou. Právě proto převažuje názor, že pro úrodnou půdu je vhodná ta primární organická hmota, ve které má zastoupení jak labilní, semilabilní, tak dokonce i semistabilní frakce (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

2.3.5. Huminy

Humus může být v půdě dále přítomen i v podobě huminů. Huminy jsou díky svojí vysoké molekulové hmotnosti stabilnější složkou půdy. Jsou nerozpustné v chemických látkách a zůstávají pevně spojeny s jílovými částicemi, které jsou nejjemnějšími minerálními koloidy v půdě. Tato schopnost jim zřejmě umožňuje přetrvávat velmi dlouhou dobu v půdním profilu, v případě že půda není narušována. Struktura huminů je v podstatě odvozena od obsahu ligninu v organické hmotě, který vede k vytvoření jedinečných strukturálních vazeb. Huminy jsou významné humusové látky s nejvyšší molekulovou hmotností, které zvyšují kationtovou výměnou kapacitu půdy, čímž přispívají ke zlepšování půdní kvality (COLLINS *et al.*, 1997).

2.3.6. Huminové látky

K nejdůležitějším humusovým látkám jako výsledným produktům humifikace, patří huminové kyseliny, které se vyznačují vysokým obsahem uhlíku (ŘÍMOVSKÝ, 1994). Složení prvků huminových kyselin závisí hlavně na půdním typu, chemickém složení rostlinných zbytků a na podmínkách humifikace. Jsou tmavé barvy a většinou se hromadí na místě vzniku (POSPÍŠILOVÁ a TESAŘOVÁ, 2009). Jsou to tenké a ploché částice, napojené k sobě tak, že tvoří mřížkovitý pórovitý materiál, jsou nerozpustné v alkoholech a kyselinách a mají střední molekulovou hmotnost (LABRADOR, 1996). To může být jedna z jejich nejvýznamnějších fyzikálně-chemických vlastností, neboť umožňuje vytvářet velkou kapacitu pro zadržování vody a silný aniontový náboj, který znatelně zlepšuje kationtovou výměnnou kapacitu půd (CROVETTO, 2001).

2.3.7. Sorpční schopnost půdy (kompostu)

Sorpční schopností půdy se rozumí schopnost poutat (sorbovat) ionty a molekuly různých látek z roztoku (LEDVINA *et al.*, 1999). Soubor půdních koloidů, které se podílejí na výměnných reakcích, nazýváme půdní sorpční komplex. Sorpční komplex půdy umožňuje zadržovat ionty prvků a dynamicky je v případě potřeby uvolňovat do půdního roztoku, ze kterého jsou pak snadno přijímány rostlinami (VOPRAVIL *et al.*, 2009).

Z funkčního hlediska rozeznáváme u sorpčního komplexu dvě části: aktivní a pasivní. Aktivní část, tj. vlastní komplex, jeho aniontová část, která působí na volné ionty v půdním roztoku a vyvolává sorpční procesy. Pasivní částí jsou kationty, vstřebávané aktivní částí sorpčního komplexu. Jednotlivé kationty jsou v půdním sorpčním komplexu vázány různou silou v pořadí: $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{H}^+ < \text{Ca}_2^+ < \text{Mg}_2^+ < \text{Fe}_3^+$, přičemž sodík je vázán na sorpční komplex nejslaběji (POKORNÝ *et al.*, 2002).

Sorpční schopnost půdy je prvotně ovlivněna půdním druhem, půdním typem a pedogenetickými procesy, kterými půda vznikala. Stejně půdní typy vzniklé na zrnitostně rozdílných půdotvorných substrátech mají odlišné sorpční schopnosti (VOPRAVIL *et al.*, 2009).

2.4. Biologicky rozložitelný odpad (BRO)

Odpady biologického původu jsou v komunálním odpadu významnou skupinou a způsob nakládání s nimi může pozitivně nebo negativně ovlivnit složky životního prostředí. Převážná část těchto odpadů je určena k látkovému nebo materiálovému využití. Obsahují rostlinné živiny a organické látky, které je možno stabilizovat a výhodně uvádět do přírodního koloběhu jako organické hnojivo – kompost.

Biologicky rozložitelné odpady se mohou také zpracovávat technologií anaerobní digesce, při které kromě organického hnojiva – digestátu vzniká další produkt – bioplyn, který je možno využít k výrobě elektrické energie, tepla atd., (MŽP, 2008–2015).

Biologicky rozložitelné odpady (BRO) jsou odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu, jsou to zejména odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví a potravinářství, dále odpady papírenského a textilního průmyslu, odpady ze

zpracování dřeva, kůží a dalších. V neposlední řadě sem zahrnujeme čistírenské a vodárenské kaly a komunální bioodpady.

2.4.1. Odpady z rostlinné výroby

Do této skupiny patří sláma, bramborová nat', řepný chrást, silážní šťávy, znehodnocená krmiva (zelená píce, seno, siláže, senáže), nadzemní hmota plodin na semeno (jeteloviny, luskoviny, olejnin – řepka) aj.

2.4.2. Odpady živočišného původu

K nejdůležitějším BRO ze živočišné výroby patří chlévská mrva (chlévký hnůj), močůvka, kejda a hnojůvka. V místě jejich vzniku se však nejedná o odpad. Jejich hlavní význam je, že obsahují cenné organické látky (celulózu, hemicelulózu, lignin, sacharidy, aminokyseliny, bílkoviny, auxiny, apod.), minerální živiny (N, P, K, Ca, Mg a mikroelementy), mikroorganismy a růstové látky (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).

Údaje o produkci BRO v různých oblastech jejich vzniku patří k nejdůležitějším informacím potřebným pro řešení jejich dalšího využití. Sledují se nejen fyzikální a chemické vlastnosti (objemová hmotnost, poměr C:N, vlhkost, zrnitost apod.), ale také jednotková množství vztažená na plochu, počet zvířat, obyvatelé apod. Někdy se hodnotí i jejich sezónnost.

Převážná část BRO je předurčena k materiálovému nebo energetickému využití. Tyto odpady obsahují organickou hmotu a rostlinné živiny. Organickou hmotu je možno stabilizovat a výhodně uvádět do přírodního koloběhu jako organické hnojivo – kompost. Separovaný bioodpad se může také zpracovat metodou anaerobní digesce, jejímiž produkty jsou bioplyn a rovněž organické hnojivo (ALTMANN *et al.*, 2010).

2.5. Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO)

Biologicky rozložitelné komunální odpady patří rovněž do skupiny BRO, ale jsou i kvantitativně významnou skupinou tzv. směsných odpadů. Podíl biologicky rozložitelných komunálních odpadů ve směsném komunálním odpadu (SKO) dnes činí okolo 42% (Anonym, www.kompostuj.cz, 2015).

a) Odpad (jako materiál, surovinu) lze zpracovávat na zahradách rodinných domů, v zahrádkářských osadách apod. Jde o způsob domácího, případně komunitního kompostování. Tento odpad není nikde vykazován, jeho produkce nemůže být

zvážena a podle zákona o odpadech vlastně jako „odpad“ neexistuje – vlastník nemá úmysl se jej zbavit. Jde svým způsobem o předcházení vzniku skutečného odpadu.

b) Odpad (ale již ne jako materiál), je odkládán na vyhrazené místo (kontejner, sběrná nádoba, sběrný dvůr apod.). V tomto momentě je ale již navýšena produkce komunálního odpadu obce nebo města o množství hmoty, která vznikla pouze tím, že se vytvořilo místo na její sběr. Jde tedy o separovaný sběr BRKO (ALTMANN V., 2010).

Tab. č. 1. Druhy odpadů tvořící BRKO, dle Katalogu odpadů

Kód odpadu	Název druhu odpadu	Koeficient biologického rozkladu
20 01 01	Papír a lepenka	1
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	1
20 01 10	Oděvy	0,60
20 01 11	Textilní materiály	0,50
20 01 38	Dřevo neuvedené pod č. 20 01 37	1
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	1
20 03 01	Směsný komunální odpad	0,54
20 03 02	Odpad z tržišť	0,80
20 03 07	Objemný odpad (započteno koeficientem dle 1)	0,50

(KOTOULOVÁ, VÁŇA, 2001)

2.6. Způsoby nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Mezi základní technologie zpracování všech biologicky rozložitelných odpadů (BRO) patří bioplynové stanice s výrobou bioplynu, spalování různě upravených bioodpadů v různých spalovacích zařízeních a výroba kompostu v kompostárnách (PLÍVA *et al.*, 2006). Použití prvních dvou technologií je závislé na vlastnostech zpracovávaných bioodpadů, zejména na jejich vlhkosti (CELJAK, 2008). Technologií kompostování lze při vhodné volbě surovinové skladby zakládky zpracovat prakticky veškeré bioodpady (PLÍVA *et al.*, 2006).

2.6.1. Digesce (fermentace)

Po úpravě biomasy a následném zcukření buněčné stěny mohou uvolněné cukry být zkvašeny a použity do biopaliv nebo jiných požadovaných produktů. Je zásadní, že jak pěti, tak i šesti uhlíkaté cukry kvasí na alkohol. Zpravidla nikdy nelze dosáhnout hospodářské životaschopnosti, pokud jsou metabolizovány pouze šesti uhlíkaté cukry. K dosažení těchto zásad musí být glukóza a xylóza zpracovány pomocí mikroorganismů (SHARARA *et al.*, 2012).

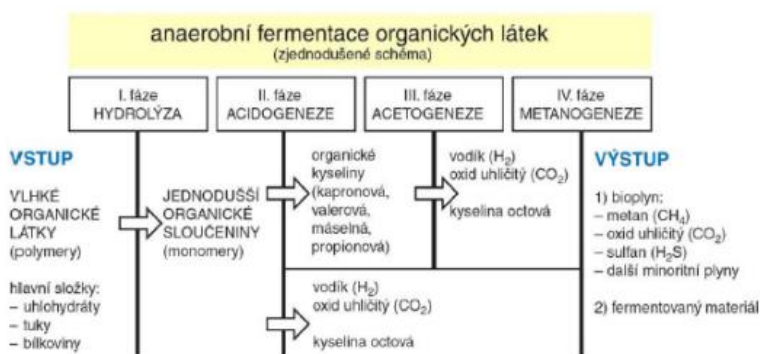
2.6.2. Anaerobní digesce

Anaerobní fermentace mokré hmoty o sušině 4 – 12 %, eventuálně 25 – 35 %. Anaerobní fermentace je rozklad biomasy za pomoci speciálních bakterií v anaerobním prostředí. Při tomto procesu je uvolňován metan jako zplodina metabolismu, který je využíván pro sdruženou výrobu elektrické energie a tepla (kogenerace) (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ *et al.*, 2006).

Biologický rozklad organických látek v podmínkách bez přístupu vzduchu je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce. Tento proces může probíhat v přírodě samovolně nebo je vyvolán záměrně pomocí biotechnických zařízení. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a organické zbytky fermentovaných látek, která vždy obsahuje dva hlavní plyny (metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2).

Anaerobní fermentace je velmi složitý proces, který se skládá z mnoha dílčích na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmínkách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál (KÁRA *et al.*, 2007).

Obr. č. 1.: Zjednodušené schéma anaerobní fermentace organických látek.



(KÁRA *et al.*, 2007)

Hydrolýza – přítomné anaerobní bakterie přeměňují makromolekulární organické látky (bílkoviny, polysacharidy, tuk, celulózu) pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů na nízkomolekulární (monosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny a vodu), které jsou rozpustné ve vodě.

Acidogeneze – v této fázi jsou rozkládány produkty hydrolýzy na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). Výsledné fermentované produkty jsou závislé na původním substrátu a podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, CO₂, H₂, při vyšším jsou tvořeny vyšší organické látky, kyselina mléčná, etanol apod.

Acetogeneze – v této fázi probíhá oxidace produktů acidogeneze na CO₂, H₂ a kyselinou octovou, která je také tvořena acetogenní respirací CO₂, H₂ homoacetogenními mikroorganismy. Účast těchto mikroorganismů produkujících vodík je nezbytná, protože rozkládají kyselinu propionovou a vyšší kyseliny než octovou.

Metanogeneze – je poslední fází procesu obsahující metanogenní organismy, které dokáží rozkládat některé jednodušší látky (metanol, kyselina mravenčí, metylamin, CO₂, H₂, CO) a kyselinou octovou. Jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají velice specifické požadavky na substrát i životní podmínky, často jsou limitujícím faktorem celého procesu. Podle specifiky substrátu je lze rozdělit pouze na hydrogenotrofní nebo pouze acetotrofní (STRAKA *et al.*, 2003).

2.6.3. Alkoholová digesce

Během procesu alkoholové fermentace dochází aktivitou kvasinek k přeměně cukrů na alkohol a další vedlejší produkty. Hlavní probíhající reakcí je přeměna glukózy na etanol a oxid uhličitý, kterou lze pomocí sumárních vzorců zjednodušeně napsat jako:



Fermentace na alkoholy probíhá v podmínkách bez přístupu vzduchu, což má za následek pomalejší kvašení, ale vysokou schopnost zadržování uhlíku z původního cukru do produkovaného paliva, protože není přítomen kyslík na oxidaci uhlíku na CO₂ (SCOTT, 2012).

2.6.4. Biologické sušení

Jedná se o aerobní biotechnické zpracování organických odpadů. Do kontejnerů se uskladňují převážně BRO a kaly, kde je neovlhčená surovina nepřetržitě promíchávána a provzdušňována. Již během sedmi dní je lehce rozložitelná část BRO mikroorganismy rozložena. Odpad je postupně vysoušen proudem vzduchu o teplotě až 70°C. Výsledný produkt si zachovává dobrou výhřevnost, podíl organických látek je snížen jen velmi málo. Z produktu je odebráno sklo, kovy a anorganické součásti. Tyto komponenty se využívají jako sypké palivo nebo se briketují (TESAŘOVÁ *et al.*, 2010).

2.6.5. Mechanicko-biologická úprava

Měla by probíhat před uskladněním odpadu na skládku, základem je kombinace fyzikálních a biologických postupů. Při mechanicko-biologické úpravě (dále „MBÚ“) se zpracovává směsný komunální odpad, zbytkový komunální odpad nebo jakýkoliv BRO nevhodný pro anaerobní zpracování a kompostování. Cílem této úpravy je, aby veškerý skládkovaný materiál měl co nejmenší vliv na složky životního prostředí a případně může tato technologie sloužit pro výrobu bioplynu. Technologické postupy MBÚ zahrnují drcení, prosévání, třídění odpadu do tří kategorií:

- složky recyklovatelné, případně s vysokou výhřevností,
- složky inertní, případně narušující biologickou úpravu odpadů,
- složky biologicky rozložitelné

Při MBÚ se nejčastěji používají aerobní postupy. Doba procesu trvá 5 až 15 měsíců v závislosti na složení odpadu. Nejintenzivnější rozklad organických látek probíhá v prvních deseti týdnech, pozdější rozklad probíhá pomaleji. Rozkladný proces je ovlivněn hlavně stupněm provzdušnění. Po ukončení procesu zůstane v odpadu asi 30 % z původního obsahu organických látek. V průběhu aerobních fází jsou rozkládány obtížně rozložitelné organické látky, jako např. lignin. V poslední etapě dochází k změně organických sloučenin na bioplyn (KIZLINK, 2014).

3. Kompostování

Kompostování je přirozená biochemická přeměna, při které vzniká v aerobním prostředí vlivem živých organismů stabilní organický produkt – hnojivý substrát.

Výsledkem tohoto procesu je přeměna nestabilních přírodních surovin na stabilní, proces je doprovázen snížením objemu, hmotnosti, obsahu vody za zvýšené teploty. Jednoduchý popis procesu je znázorněný:

Organické látky + O₂ + mikroorganismy = kompost + CO₂ + H₂O + teplo

(HEJÁTKOVÁ, 2008)

Kompostování je velmi užitečný proces s pozitivním vlivem, který se projevuje především v odpadovém hospodářství. Komunální odpady, které jsou produkovány ve městech, bývají častokrát tvořeny organickými látkami, a to i z 80 %, které by bez technologie kompostování nejspíše skončily na skládkách odpadu, nebo by byly bez využití spáleny (ZEMÁNEK, 2010). Protože se kompostování blíží uzavřenému přírodnímu cyklu, je jednou z nejvyužívanějších recyklačních technologií pro organické odpady (KURAŠ *et al.*, 2014).

Při kompostování probíhá přeměna organických látek stejným způsobem jako v půdě, s rozdílem že ji lze technologicky ovládat. Kompostování lze tedy definovat jako „řízený proces, který zabezpečuje potřebné podmínky pro rozvoj žádoucích mikroorganismů“. Humusové látky lze získat rychleji a produktivněji oproti polním podmínkám.

Kompost – „univerzální statkové hnojivo, které obsahuje všechny druhy rostlinných živin, humusové složky a půdotvorné látky oživené edafonem. Zralost kompostu lze rozeznat dle tmavé drobovité hmoty bez zápachu, ve které nelze identifikovat strukturu původních částic“ (HEJÁTKOVÁ K., 2008).

V současné době je na půdu vlivem intenzifikace zemědělství vyvíjen nadměrný tlak. Tento tlak, má mimo jiné, za následek i snižování obsahu půdní organické hmoty. Následkem této skutečnosti je razantní pokles úrodnosti půd (RAVIV, 2015).

3.1. Průběh aerobního kompostování

Kompostování je kontinuální proces, u kterého nelze přesně vymezit jednotlivé časové úseky a průběh tlení, ale lze jej rozdělit do tří základních fází, jež jsou od sebe snadno rozeznatelné:

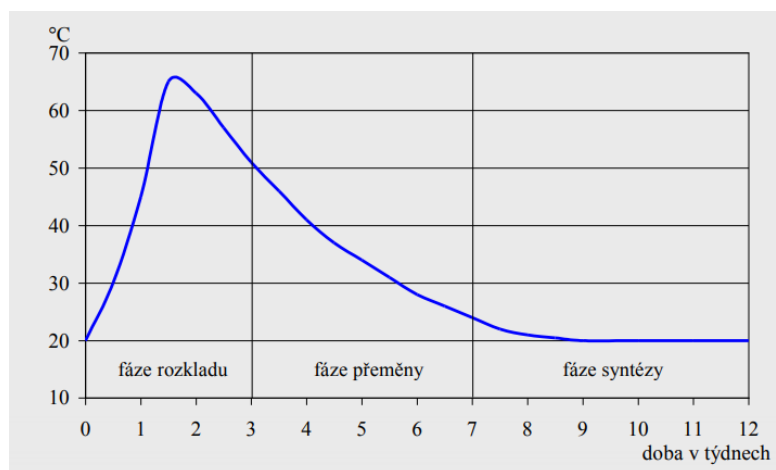
- termofilní fáze rozkladu – Tato fáze trvá asi 3-4 týdny, teplota stoupá na 50–70 °C v závislosti na materiálu. Rozklad lehce rozložitelných sloučenin (cukry,

bílkoviny, škrob). Konečným produktem této fáze jsou například dusičnany, CO₂ a čpavek. Živiny vázané v organické hmotě se uvolňují a jejich část přechází až do minerální formy.

- mezofilní fáze přeměny – Tato fáze trvá od 4 až do 8-10 týdne. Teplota začíná pozvolně klesat. Mineralizované živiny jsou zabudovány do „humusového komplexu“. Kompost získává rovnoměrně hnědou barvu a drobovitou strukturu. V této fázi má nejlepší hnojivý účinek.

- fáze syntézy – Teplota klesá na teplotu okolního prostředí a stále více se strukturou blíží zemině. „Živný humus“ se přeměňuje na „trvalý humus“. Hnojivý účinek se zmenšuje, protože živiny jsou pevněji vázány, tím se však zvyšuje stabilita a kvalita humusu. Celkové snížení hmotnosti až o 60 % (GRODA, 1995).

Graf č. 1. Průběh teploty a fáze tlení v průběhu kompostování



Zdroj: (KALINA, 1999)

3.2. Faktory ovlivňující kompostování

3.2.1. Poměr C:N

Uhlík je jedna z nejdůležitějších živin přijímaná mikroorganismy. Je ale důležité mít na paměti, že ne všechen uhlík přítomný v kompostovaném materiálu bude k dispozici přítomným dekompozitorům. Dostupnost tohoto prvku je závislá jak na typu mikroorganismu, tak na formě, ve které je uhlík přítomný. Mikroorganismy samotné vykazují širokou variabilitu ve vztahu ke sloučeninám uhlíku, které mohou využít. Škála využití se mění společně s druhem mikroorganismu. Variabilita začíná od jednoduchých cukrů až po složité organické molekuly (jako např. celulóza a lignin).

Složení mikroorganismů se mění v závislosti na fázi, ve které se kompostovací proces nachází. Čím více rezistentních forem uhlíku (lignin) se v kompostu nachází, tím větší bude ve finálním produktu část tvořena právě těmito nerozloženým polysacharidy (BORDER, 2002).

3.2.2. Teplota

Optimální teplota pro rozklad organických surovin je ovlivněna především jejich druhem. Různé materiály se rozkládají při různých teplotách. Obecně je uváděno optimum teplot od 50 do 60 °C (WURFF *et al.*, 2016). Teploty potřebné k likvidaci nežádoucích patogenů je předepsána státní normou ČNS 4657375 (PLÍVA *et al.*, 2006). Pro zlikvidování nežádoucích patogenů jsou uváděny teploty okolo 55 °C a výše, a pro zneškodnění semen plevelů 62 °C (MISRA *et al.*, 2003). Vývoj teplot musí být pravidelně zaznamenán, nejlépe denně nebo alespoň třikrát týdně. Důležité je správně změřit teplotu, a to v ohnisku (v hloubce 40-50 cm), (WURFF *et al.*, 2016).

3.2.3. Vlhkost

Voda je v kompostu potřebná pro transport živin, umožňuje pohyb organismů a je médiem pro chemické reakce (PLÍVA *et al.*, 2006). Vlhkost je nezbytná pro podporu metabolické aktivity mikroorganismů (WURFF *et al.*, 2016). Optimální vlhkost hotového kompostu se uvádí 50–60 % (GERSHUNY, 2004). Pokud je materiál příliš suchý, proces kompostování je pomalejší. Zatímco vlhkost vyšší než 65 % rozvíjí anaerobní podmínky (WURFF *et al.*, 2016). Na počátku procesu je v praxi vhodná vlhkost přibližně 50-60 % a na konci pouze kolem 30 % (MISRA *et al.*, 2003). Vlhkost je v úzké závislosti s dodávaným vzduchem. Největší ztráty jsou pozorovány při dodání velkého množství vzduchu. Při dodávce malého množství se ztráty snižují a jsou konstantní (PLÍVA *et al.*, 2006). Obsah vlhkosti lze odhadnout pomocí orientační zkoušky. Vezmeme hrst kompostu do ruky a stlačíme ho tak silně, jak je to možné. Jestliže voda protéká mezi prsty, kompost je příliš mokrá. V případě, že se po otevření ruky koule rozpadá, kompost je příliš suchý. Jestliže hmota zůstane kompaktní, ve formě hrady, vlhkost kompostu je optimální (WURFF *et al.*, 2016). Představu o orientační zkoušce poskytuje obrázek č. 2.

Obrázek č. 2.: *Optimální vlhkost materiálu – vlevo je příliš vlhký materiál, uprostřed materiál s optimální vlhkostí a vpravo příliš suchý.*



Zdroj: (WURFF *et al.*, 2016).

3.2.4. Vzduch

Dostatečný přívod vzduchu je jednou ze základních podmínek, kterou musíme dodržet pro funkci efektivního kompostování. Vlhký materiál se musí promíchávat se sušším a tím i vzdušnějším materiálem (SCHILTHUIS, 1992). Každý kompost potřebuje určitý podíl strukturního materiálu. Myslí se tím neskladný materiál, který vede vzduch. Jedná se o slámu, seno, piliny, slabé větve, kůru a jiné. Čím více je tohoto materiálu, tím více vzduchu je v kompostovaném materiálu. Když je kompost s dostatkem strukturního materiálu založen, začíná tlení v podstatě ihned (PLÍVA *et al.*, 2006). Není vhodné kompostovat v uzavřených nádobách, jímkách apod. Další možností, jak zabezpečit vzduch v kompostu je překopávání (MOŇOK, 2008). Zvýšenou aerací se zkracuje doba zrání kompostu. Doplňková kontrola parametrů kompostovacích surovin, zvláště teploty zakládky při častém provzdušňování, je velmi podstatná, protože časté provzdušňování může vést k přílišné ztrátě tepla a tím k ochlazení zakládky a neúplné stabilizaci živin (ZEMÁNEK, 2001).

3.2.4. Hodnota pH

Hodnota pH je měřítkem zásaditosti a kyselosti prostředí. V procesu kompostování pH ovlivňuje růst a aktivitu mikroorganismů (KOLLÁROVÁ, 2007). Optimální pH u čerstvého kompostu s ohledem na mikroflóru se požaduje v rozmezí pH 6-8. U kompostu ze zemědělských a stájových odpadů se tento interval dodrží bez přísadků vápenatých hnojiv. Bakterie, které vyžadují pro svůj růst pH nižší než 5 se nazývají acidofilní. Jejich optimální pH se pohybuje okolo 2-3. Bakterie, které nejlépe rostou při pH 7–12, se nazývají alkalofilní, jejich optimum je 9,5. Posledními jsou bakterie neutrofilní, které preferují neutrální pH.

V počáteční fázi kompostování se pohybuje pH okolo hodnoty 5, jež je způsobena tvorbou organických kyselin. V této fázi převládají organismy houby a plísně, tolerantní ke kyselému prostředí. Posléze jsou kyseliny rozkládány mikroorganismy, což je doprovázeno změnou pH k neutrálním hodnotám (PLÍVA *et al.*, 2006).

3.2.5. Suroviny pro založení kompostu

Základní složkou surovinové skladby kvalitního kompostu je organická hmota, která je snadno rozložitelná mikroorganismy, které uskutečňují transformační procesy v kompostu. Kdyby tato důležitá zásada byla přehlédnuta a do surovinové skladby by se dostala mikrobiálně hůře rozložitelná organická hmota, vyrobili bychom pouze organominerální směs, nikoli však kompost. Kompostovaná směs by totiž nedosáhla potřebné teploty, která je potřebná pro správné kompostování. A právě výše dosažené teploty a délka trvání této maximální teploty v kompostu je zárukou, že dojde k žadoucím změnám organické hmoty a k jejímu reakčnímu spojení s koloidní minerální půdní frakcí (jílem) (KOLÁŘ, KUŽEL 2000).

Pro stanovení optimální surovinové skladby je základním kritériem poměr uhlíku a dusíku C:N. Tento poměr zásadně ovlivňuje činnost mikroorganismů, a tím i dobu zrání kompostu, tvorbu humusových látek a samozřejmě také výslednou kvalitu kompostu. Abychom dosáhli vysoce stabilního a agronomicky účinného zralého kompostu, je potřeba, aby poměr C:N byl v rozmezí 25–30:1. K tomu je třeba optimalizovat C:N v čerstvém kompostu tak, aby hodnota pohybovala mezi 30-35:1 (VÁŇA, 1997). Před započítáním kompostování je tedy třeba zjistit poměr C:N v materiálu, který hodláme kompostovat.

Dále je třeba zajistit minimální množství fosforu v surovinové skladbě 0,2% oxidu fosforečného v sušině. Tento obsah je při využití klasických bioodpadů, či stájových hnojiv často překračován a s jeho nedostatkem není problém (SLEJŠKA *et al.*, 2006).

- 1) Hotový kompost tedy musí obsahovat hotové humusové látky, organominerální komplexy stabilizované jílem. Tím je zajištěno, že organická hmota dobrého kompostu mineralizuje celkem málo a je proto možné kompostem organicky hnojit i velmi těžké neprovzdušněné půdy, ve kterých

např. i hnůj velmi rychle mineralizuje a z hlediska přírůstku obsahu humusu prakticky bez užitku.

2) Obsah humusových látek v kompostu je příčinou jeho vysoké sorpční a kapacity. Měření této kapacity lze využít jako metody k hodnocení kvality kompostu (KOLÁŘ, KUŽEL 2000).

3.3. Technologie a řízení kompostování

První fáze obsahuje zejména příjem, třídění, homogenizaci a případné skladování biologicky rozložitelného odpadu, který je pro kompostování určený. Odpady by měly být skladovat krátkodobě a separovaně. Správné uskladnění je jedním z předpokladů, pro vytvoření vhodné surovinové skladby, která je nezbytná pro samotný úspěch kompostování. V případě potřeby je možné před samotným uložením provést zpracování materiálu pomocí štěpkovače nebo drtiče. Samotné drcení a míchání je investičně a energeticky náročné a ovlivňuje ekonomiku kompostárny. Drcení a míchání by mělo zajistit jak kvalitní rozmělnění, tak promíchání všech surovin (PLÍVA *et al.*, 2016)

Kompostovací techniky se dají rozdělit do čtyř základních kategorií:

- 1) Kompostování na volné ploše
 - kompostování v pásových hromadách
 - kompostování v plošných hromadách
- 2) Intenzivní kompostování
 - polouzavřené systémy, kompostování v boxech nebo žlabech
 - uzavřené systémy, kompostování v bioreaktorech
- 3) Kompostování ve vacích
- 4) Vermikompostování (JUNGA *et al.* 2015)

Až na malé odchylky je průběh kompostovacího procesu podobný u všech technologií. Významným rozdílem je pouze intenzita probíhajících dějů. Základním kritériem při volbě kompostovací technologie jsou ekonomická hlediska. Největší potenciál pro své rozšíření v ČR má technologie kompostování na volných plochách, a to v pásových nebo plošných hromadách. Tuto technologii lze provozovat na zpevněných, vodohospodářsky zabezpečených plochách pod širým nebem (PLÍVA *et al.*, 2009).

3.3.1. Kompostování na volné ploše v pásových hromadách

Z hlediska kvality zabezpečení kompostovací plochy, které musí zamezit případnému ohrožení povrchových a podzemních vod, a podle množství kompostovaných surovin lze provozovat kompostování na polní kompostárně o produkci kompostu 50–500 tun ročně (kompostovišti), nebo na stálé (průmyslové) kompostárně o produkci nad 500 tun ročně (KOLLÁROVÁ, PLÍVA, 2008). Jedná se o nejvíce používanou technologii kompostování. Dělí se podle způsobu provzdušňování na mechanické s překopáváním, pasivní pomocí vložených vzduchovodných trubek a aktivní kde se využívá potrubí a dmychadel, které vhání vzduch do zakladky (JUNGA *et al.* 2015). Technologie kompostování na volné ploše v pásových hromadách je ideální výchozí technologií pro provozování řízeného kompostování, kterému se jinak říká kontrolované mikrobiální kompostování neboli rychlokompostování (ALTMANN *et al.* 2010).

3.3.2. Kompostování na volné ploše v plošných hromadách

Patří mezi nejstarší kompostovací technologie. V dřívějších letech se uplatňovalo hlavně z důvodu, že nebyla vhodná mechanizace pro zakládání pásových hromad. Plošné hromady se budovaly na souvratích. Kompost byl zakládán do výšky 50 cm, byl zavlažován především močůvkou a zakládal se z vrstev slámy, chlěvské mrvy a dalších odpadů. Kompost se převrstvoval pluhem, horní vrstva se zpracovávala dolů. Plocha zakladky se po 2-3 roky využívala k pěstování krmných plodin. Po zrušení se kompost rozvážel na ostatní pole (PLÍVA *et al.*, 2009).

V současnosti je kompostování v plošných hromadách využíváno hlavně ve velkých kompostárnách ve městech, kde je produkováno velké množství BRO. Zakládají se až do výšky 5 m, jsou překopávány překopávači, a kompost je přehazován na nové stanoviště (ALTMANN *et al.*, 2010).

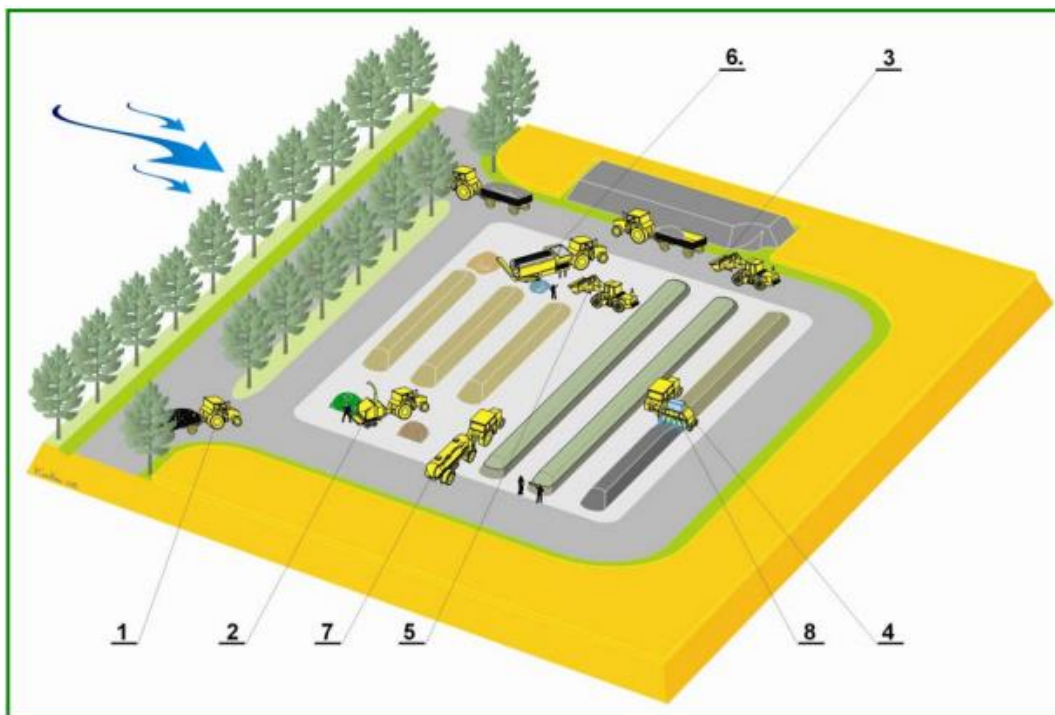
3.3.3. Strojní vybavení pro kompostování na volné ploše

Na obr. č. 1., je zobrazena polní kompostovací jednotka na zpevněné volné ploše. Takto provozovaná kompostovací linka je vhodná pro zemědělský podnik a její činnost lze popsat následujícím způsobem.

Po dovezení a příjmu surovin na kompostárnu (**kolový traktor s traktorovým sklápěcím přívěsem – (1)**) je, v případě potřeby zajištění homogenity kompostovaných

surovin, proveden jemný rozklad surovin (např. větve, náletové dřeviny, pařezy) pomocí **drtiče (štěpkovače) spojeného s kolovým traktorem (2)**. Pro zakládání surovin do kompostovacích hromad, popř. jejich urovnávání, je využíván **traktor, ke kterému je připojena univerzální čelní lopata (3)**, popř. drapák.

Obr. č. 3.: *Praktické provedení kompostovací linky pro zemědělství.*



(Zdroj: PLÍVA *et al.*, 2008).

Promíchávání pásových hromad je zajišťováno **výhradně připojitelným překopávačem kompostu spojeným s kolovým traktorem (4)**.

Pro skladování hotového netříděného kompostu je využívána **sestava složená z kolového traktoru a univerzální čelní lopaty (3)**.

V případě dalšího zpracovávání hotového kompostu – např. na prosévání, je využíván **kolový traktor s univerzální čelní lopatou (5)** pro vkládání prosévaného kompostu **do násypky rotačního síta válcového (6)**, pro jehož pohon je využíváno dalšího energetického zdroje.

Při řešení kompostovací linky tímto způsobem lze pohánět jednotlivá připojitelná zařízení jedním mobilním energetickým prostředkem – kolovým traktorem, vyjma **operace prosévání**.

Dále lze kolový traktor pro zajištění i dalších - doplňkových operací spojených s kompostovacím procesem, jako jsou například převážení nebo rozmetání kompostu (připojitelné zařízení - **rozmetadlo kompostu**), zajištění optimální vlhkosti kompostu během kompostovacího procesu (**souprava kolový traktor a fekální přívěs – 7**), popř. přesné nadávkování biotechnologických prostředků do překopávaného kompostu (připojitelné zařízení - **adaptér pro aplikaci kapalin, popř. biotechnologických přípravků pro ošetření kompostu – 8**, či přikrývání pásových hromad kompostu kompostovací plachtou (připojitelné zařízení - **adaptér pro rozbalování a svinování kompostovací plachty**), (PLÍVA *et al.*, 2008).

3.3.4. Intenzivní kompostování

Cílem je rychlá přeměna organických látek na humusové látky v počáteční hydrolytické fázi a intenzifikace procesu. Hlavním faktorem je síla aerace.

Kompostování v biofermentorech je uzavřený systém, který je řešen pomocí uzavřených zděných boxů nebo kontejnerů. Kompostovací materiál je provzdušňován přívodem vzduchu pomocí ventilátorů. Po ukončení fáze rozkladu je materiál vyskladněn a dochází k dozrávání kompostu volně na ploše v plošných nebo v pásových zakládkách.

Kompostování v provzdušňovaných žlabech nebo boxech nebo na volných plochách s otevřeným systémem kompostování, při které je zajištěna aerace rozvodem vzduchu pod bázi zakládky. Řízená výměna vzduchu v uzavřeném prostoru je v tomto případě řešena převážně jako pozitivní.

3.3.5. Kompostování ve vacích

Jednou z dalších možností, jak zpracovávat biologicky rozložitelné odpady, je kompostování ve vacích. Jedná se o uzavřený systém kompostování, při kterém jsou suroviny plněny do polyetylenových vaků pomocí lisu. Do vaku se při plnění dává provzdušňovací trubice po celé délce, která zajistí aerobní prostředí. Aerace je řízená monitorovací jednotkou. Vak je po naplnění uzavřen těsnícím páskem (CHUDÁREK *et al.*, 2013). Z ekonomického hlediska je možné zařadit kompostování ve vacích mezi investičně výhodné technologie zpracování odpadů. Pozitivní je i fakt, že celková provozní náročnost této technologie je v porovnání s jinými způsoby zpracování bioodpadů méně náročná (PLÍVA *et al.*, 2011).

3.3.6. Vermikompostování

Vermikompostování pochází z latinského slova *vermis*, což znamená červ (PLÍVA *et al.*, 2016). Jedná se o oxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který na rozdíl od klasického kompostování, využívá interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů a nezahrnuje termofilní fázi rozkladu (DOMÍNIGUEZ, EDWARDS, 2011). Žížaly v tomto procesu zajišťují překopávání, fragmentaci a aeraci. Oproti klasickému kompostování není potřeba kompostované suroviny překopávat. Tím se vermikompostování řadí mezi nízkonákladové technologie zpracování bioodpadů, navíc šetrné k životnímu prostředí (PLÍVA *et al.*, 2016).

Pro úspěšné zpracování bioodpadů se používají epigeické druhy žížal, které se vyznačují tím, že mají přirozenou schopnost rozkládat organické zbytky, mají vysokou míru spotřeby, trávení a asimilace organické hmoty, tolerují široké rozpětí ekologických faktorů, mají krátký životní cyklus, rychle se rozmnožují, a jsou nenáročné na údržbu (DOMINGUEZ, EDWARDS, 2011). Denně mohou přijmout množství hmoty srovnatelné s jejich vlastní hmotností (SAJNANATH a SUSHMA., 2004).

V našich podmínkách se jedná zejména o žížaly druhu *Eisenia andrei* (žížala kalifornská) a *Eisenina fetida* (žížala hnojní), (POMMERESCHE *et al.*, 2010). Pro kvalitní výsledný produkt vermikompostování je třeba zajistit optimální fyzikální a chemické vlastnosti vermikompostované zakládky, které musejí vyhovovat životním nárokům samotných žížal. V tabulce č. 2. jsou uvedeny optimální podmínky pro správnou aktivitu žížal.

Tab. č. 2.: *Optimální hodnoty pro správnou aktivitu žížal.*

Faktor prostředí	Optimum	Minimum	Maximum
Teplota (°C)	19 – 22	7	33
Vlhkost (%)	78 – 82	60	90
pH	6,5 – 7,5	6	8
C : N	20: 1	(TESAŘOVÁ, 2010)	

3.4. Kontrola a hodnocení kvality výsledného produktu

Kvalitu kompostu je možné stanovovat využitím různých metod a na základě mnoha parametrů. Většina metod se zakládá na parametrech chemických nebo biologických, které jsou založené na poměrech sloučenin dusíku (NH_4 , NO_3), humifikačních indexech nebo činnosti hydrolytických exoenzymů (ALVARENGA *et al.*, 2016). Podle ČSN o Průmyslových kompostech lze posuzovat kvalitu a hygienickou nezávadnost vyrobeného kompostu na základě:

1. stanovení biologické stability vyrobeného kompostu,
2. hodnocení mikrobiologických vlastností kompostu,
3. hodnocení chemických a fyzikálních vlastností kompostu.

Jednou z hlavních charakteristik kompostu je jeho stabilita. Biologicky rozložitelné suroviny obvykle mají nízkou stabilitu. V průběhu biologické úpravy, se postupně stabilita surovin zvyšuje, až jsou tzv. zralé (stabilní). Stabilitu lze rozlišovat na dočasnou, která je způsobena například nedostatkem vody, nebo trvalou, která je způsobena přeměnou snadno rozložitelných biologických látek na složité komplexy humusových látek. Stabilita je vlastně odolnost organické hmoty vůči vlastní degradaci. Zralý kompost je připraven k použití, obsahuje-li přijatelnou koncentraci fyto toxických komponentů, jako je NH_3 . nebo organické kyseliny (STOFFELLA, KAHN, 2001).

3.4.1. Iontová a kationtová výměnná kapacita

Tímto názvem je zjednodušeně popisován děj, kdy dochází k výměně iontů mezi půdním koloidem (půdní micely) a půdním roztokem. Půdní micela vlastní na svém obrovském povrchu kladný nebo záporný náboj. Tento náboj vzniká jako důsledek adsorpce (poutání na povrchu) iontů, anebo jako nerovnováha mezi náboji iontů v krystalické mřížce minerálů. Pokud má micela negativní náboj, adsorbuje kationt, aby se stala neutrální. Micela s negativním nábojem se nazývá acidoid, kladná jako bazoid a přechodná jako amfolytoid. Kvalitativní vyčíslení množství sorbovaných kationtů se označuje jako kationtová výměnná kapacita (KVK). KVK je zjištěna např. podle výpočtu výměnné sorpční kapacity (T). Pod názvem sorpční kapacita, iontovýměnná kapacita a kationtová výměnná kapacita se v praxi označuje totožná vlastnost. Děj zachycování vody nese označení retenční vodní kapacita, nikoliv sorpční kapacita (ŠARAPATKA, 2014).

3.4.2. Stanovení iontovýměnné kapacity

Stanovení iontovýměnné kapacity kompostu je v současné době chápáno jako významný znak kvality humusu. Hodnota této iontovýměnné kapacity (IVK), se měří odděleně od KVK minerálního koloidního podílu půdy, tak že se provádí stanovení před a po destrukci organické hmoty oxidací peroxidem vodíku (H₂O₂), (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

3.4.3. Stanovení kationtovýměnné kapacity

Tato metoda je využívána především pro její jednoduchost a objektivitu (SANDHOFF, 1954). Podstata spočívá v tom, že půda je převedena do H⁺ cyklu (nahrazení výměnných bazických kationtů vodíkem) se titruje Ba(OH)₂. Přitom Ba²⁺ nahrazuje vodík v sorpčním půdním komplexu a vzniká málo disociovaná voda, takže vodivost systému se prakticky nemění.

3.4.3. Legislativa hodnocení kvality kompostů

Hodnocení kvality kompostu se řídí podle ČSN46 5735 „Průmyslové komposty“. Vyroběný kompost musí odpovídat jakostním znakům, které stanovuje norma, a jsou uvedeny v tab. č. 3. (PLÍVA *et al.*, 2006).

Tab. č. 3.: *Jakostní znaky a normy pro vyrobený kompost.*

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	min. 40 a max. 65
Spal. látky ve vysuš. vzorku v %	Min. 25
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek	Min. 0,6
Poměr C:N	Max. 30:1
Hodnota pH	Od 6 do 8,5
Nerozložitelné příměsi v %	Max. 2
Homogenita celku v % relativních	±30 ^{x)}

(Zdroj: PLÍVA *et al.*, 2006)

3.4.4. Registrace kompostu

Jako každé hnojivo tak i kompost uváděný do oběhu musí být registrován. U kompostů určených pro vlastní potřebu není registrace vyžadována (VEČEŘOVÁ, 2008). Do oběhu se smí uvést pouze ten kompost, který je registrován podle zákona č. 156/1998 o hnojivech. Registraci vykonává Ústřední kontrolní zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Aplikace na zemědělské pozemky se řídí rovněž zákonem o hnojivech. Nezbytnou součástí registrace je příbalový leták (PLÍVA *et al.*, 2010). Jako kompost je podle nařízení vlády č. 103/2003 Sb. uváděno organické hnojivo vyrobené z biologicky rozložitelných surovin (nebo materiálů) s pomalu uvolnitelným dusíkem a poměrem C:N rovným nebo vyšším než 10.

Žádost se skládá ze základních informací o společnosti nebo osobě uvádějící kompost na trh. Podle vyhlášky č. 474/200 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva určí typ hnojiva (kompost). Žadatel je také povinen poskytnout ústavu potřebné vzorky kompostu, či umožnit jejich odběr (VEČEŘOVÁ, 2008). Vzorek charakterizuje základní parametry hnojiva. To jsou v případě kompostu: Vlhkost, spalitelné látky, pH, celkový dusík, poměr C:N, nerozložitelné příměsi a hodnoty rizikových prvků (HOUČEK, 2012).

Tabulka č. 4.: *Limity rizikových prvků v organických a statkových hnojivech se sušinou nad 13 % v mg/kg sušiny.*

Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
2	100	1	20	100	150	20	50	600

Zdroj: Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva

Pokud kompost nespĺňuje podmínky registrace ÚKZÚZ, je zařazen do některé z nižších skupin, která musí splňovat požadavky podle vyhlášky č. 341/2008 Sb., přílohy č. 5., které jsou uvedeny v tabulce č. 3., (PLÍVA *et al.*, 2010).

Tabulka č. 5.: Využitelné výstupy z komponovacích zařízení.

Výstup skupiny	Typ výrobku
č. 1	Kompost (organické hnojivo) v souladu s požadavky zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech
č. 2 třídy I, II a III	Rekultivační kompost
č. 3	Stabilizovaný bioodpad
č. 4	Biologicky nerozložitelné odpady (Kamení a jiné příměsi)

(Zdroj: PLÍVA *et al.*, 2010)

3.5. Ekonomika kompostování biologicky rozložitelného odpadu

Ekonomické zhodnocení provozu kompostárny budou vždy ovlivňovat zejména náklady na svoz a úpravu surovin a náklady na řízení kompostovacího procesu. S náklady na kompostované materiály je třeba počítat tam, kde se jedná o výrobky i jinak využitelné (hnůj, sláma).

V oblasti odpadového hospodářství však vývoj stále častěji ukazuje, že vstupní náklady na suroviny mohou v ekonomickém hodnocení dosahovat i „záporných“ hodnot, a to v případě, že kompostárna dostává za zpracování dané suroviny zapláceno (LIVORA, 2010). Poplatek za 1 t zpracovaného biologicky rozložitelného komunálního odpadu bude vycházet ze sazby za uložení 1 t tohoto odpadu na skládku. V závislosti na rostoucích cenách této sazby, může tato položka výrazně ovlivnit celkové náklady na výrobu 1 t kompostu (UHLÍŘOVÁ, 2007, LÉTALOVÁ, 2008). Do celkového ekonomického zhodnocení kompostárny také nelze vždy zahrnout řadu nepřímých úspor, např. zamezení vzniku černých skládek, úsporu poplatků za skládkování zkompostovaných odpadů, zlepšení životního prostředí, zvýšení výnosů plodin po aplikaci kompostu atd. (ZEMÁNEK, VEVERKA, 2007).

Objektivním kritériem při ekonomickém hodnocení provozu kompostárny jsou náklady na vyrobení 1 t kompostu a tržní cena 1 t tohoto kompostu. Při stanovení nákladů na 1 t kompostu je nutno počítat s těmito rozhodujícími nákladovými položkami:

- náklady na pořízení nebo pronájem plochy ke kompostování,
- náklady na svoz surovin,
- náklady na provoz strojů v kompostovací lince,
- náklady na mzdy pracovníků,
- náklady na vstupní suroviny (ZEMÁNEK, 2010).

4. Vlastní práce – stanovení kvality kompostu v kompostárně Písek

4.1 Popis stavu bioodpadu ve městě Písku

4.1.1. Město Písek

Město Písek leží v údolí řeky Otavy na úpatí Píseckých hor. Město je rozděleno do pěti městských částí a to:

- Vnitřní město
- Budějovické předměstí
- Pražské předměstí
- Václavské předměstí
- Hradiště

Obr. č. 4.: *Mapa města Písku a jeho městských částí.*



Zdroj: www.google.com

Z hlediska svozu bioodpadu je město Písek rozděleno na 19. svozových oblastí představující zástavbu bytových a rodinných domů.

Rozdělení do 19 svozových oblastí ukazuje následující tabulka č. 6.

Tabulka č. 6.: *Svozové oblasti města Písek.*

Svozová oblast		Městská část	Počet obyvatel
01	Vnitřní město	Vnitřní město	1 185
02	Nádražní ulice	Budějovické předměstí	2 037
03	Dr. M. Horákové - Za Kapličkou	Budějovické předměstí	2 347
04	Harantova	Budějovické předměstí	1 686
05	Kollárova	Budějovické předměstí	2 526
06	Třída Národní svobody	Pražské předměstí	1 322
07	Sídlíště Portyč	Pražské předměstí	4 310
08	Na houpačkách	Budějovické předměstí	3 105
09	Logry	Budějovické předměstí	1 014
10	Ot. Jeremiáše - J.Malého	Budějovické předměstí	1 262
11	Sídlíště JIH	Budějovické předměstí	2 961
12	Lipová alej	Budějovické předměstí	1 047
13	Putimská Vysoká	Budějovické předměstí	142
14	Hradiště	Hradiště	2 140
15	Svatý Václav	Václavské předměstí	1 242
16	Semice	Semice	272
17	Smrkovice	Smrkovice	391
18	Nový dvůr	Nový dvůr	117
19	Purkratice	Purkratice	60
Celkem trvale bydlících obyvatel			29 166

4.2. Městská kompostárna Písek (MKP)

Městská kompostárna Písek má oprávnění zpracovávat vytríděné bioodpady z komunálního (BRKO), bioodpad vznikající při údržbě veřejné zeleně na území města Písku a jeho místních částí, dále bioodpad vyprodukovaný občany. Dále zajišťuje svoz bioodpadu ze zájmového území, které má rozlohu 63 km² (zhruba do 6 km od kompostárny). Bioodpady jsou v regionu sbírány svozovými nákladními automobily Avia, Liaz, Mercedes v úpravě s nosičem na kontejnery o velikosti 10–24 m³ (celkem 40 kusů).

4.2.1. Stávající stav

Město Písek má již od roku 1995 schválenou ucelenou koncepci nakládání s odpady. Tato koncepce je dále detailně rozpracována i v Plánu odpadového hospodářství města Písku z roku 2005. Město má zajištěno veškeré nakládání s komunálními odpady (jak od občanů, tak od právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání). V této oblasti společně s městem Strakonice provozuje řízenou skládku směsného komunálního odpadu v lokalitě Smrkovice – Vydlaby. Město má zároveň úspěšně zvládnuté nakládání (svoz a manipulaci) s druhotnými surovinami a k tomu provozuje opět společně s městem Strakonice dotřídňovací linku odděleně shromažďovaných odpadů (papír, plast) taktéž v lokalitě Smrkovice – Vydlaby. Zároveň v současné době provozuje i 8 sběrných dvorů odpadů s celotýdenním provozem, které jsou úspěšně využívány občany města.

Ze všech oblastí, týkajících se odpadů, je ve městě Písku nutno dořešit pouze problematiku týkající se biologicky rozložitelných odpadů (dále jen BRO) a biologicky rozložitelných komunálních odpadů (dále jen BRKO). V současné době město Písek provozuje prostřednictvím Městských služeb Písek s.r.o. tzv. „studenou“ kompostárnu v lokalitě u Teplárny Písek a.s. Jedná se o zkolaudované zpevněné plochy vystavěné v 70. letech, určené pro nakládání s BRO a BRKO a provozované na základě schváleného provozního řádu Krajským úřadem – Jihočeského kraje. Na tuto kompostárnu je svážena veškerá zelená hmota z veřejných prostranství města Písku (parky, ostatní zelené plochy, sídliště apod.). Tato plocha představuje cca 86 ha.

Navíc město Písek zajišťuje pro občany v současné době svoz a zpracování BRKO (tráva, listí, štěpky apod.) z celého města v rámci pravidelných jednorázových jarních a podzimních svozů. Pro občany je tato služba bezplatná. Pro občany města je v současné době ve dvou sběrných dvorech možnost ukládat BRKO donáškovým způsobem do k tomu upravených velkoobjemových kontejnerů s odpovídajícím zabezpečením (gumové těsnění).

4.2.2. Stavební vybavení a plocha kompostárny

Kompostárna je umístěna v bezprostřední blízkosti teplárny, v dostatečné vzdálenosti od rodinných domů. V jejím okolí jsou k dispozici další plochy, na kterých může být kompostárna v blízké budoucnosti rozšířena, a tak bude zvýšen např. komfort uskladnění vyrobeného kompostu, provoz výroby kompostu apod.

Stavba kompostárny zahrnuje venkovní vodohospodářsky zabezpečenou plochu s asfaltovým povrchem o rozměrech 53 x 68 m, o celkové ploše 3604 m², na které kompostování probíhá. Plocha je vyspádovaná se sklonem 10 %. Součástí plochy je podzemní jímka o objemu 300 m³, z které je v případě potřeby používána voda pro úpravu vlhkosti kompostovaného materiálu. Voda z jímky je rozvedena podél kompostovací plochy pomocí podzemního potrubního systému, do kterého je zařazeno několik ventilů pro napojení hadice. Pro řízení distribuce zbytkové vody je zde využíván elektrický řídicí systém.

K evidenci přijímaných odpadů a k distribuci hotového kompostu slouží silniční nájezdová váha o rozměrech vážící plochy 3 x 6 m, s váživostí do 30 000 kg. Při výstavbě kompostárny byla postavena moderní hala nepravidelného půdorysu, se třemi vraty s motorovým pohonem otevíracího mechanismu pro uskladňování kompostářské techniky.

4.2.3. Technologie kompostování v MKP

Městská kompostárna Písek využívá pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů technologie kompostování v pásových hromadách na volné ploše, což znamená, že zpracovávané suroviny jsou zakládány postupně do jednotlivých pásových hromad širokých 4–5 m, vysokých zhruba 3 m podle ověřené surovinové skladby.

4.2.4. Strojní a technické vybavení kompostárny

Zpracovatelský cyklus je složen z technologických operací, které zajišťují následující stroje:

1. Suroviny přivezené ke zpracování jsou shromažďovány přímo na kompostovací ploše a do plošných hromad jsou zakládány podle receptury surovinové skladby kolovým nakladačem Caterpillar 930K, který má objem lopaty 2 m³ a 4 m³.

Obr. č. 5.: *Kolový nakladač Catterpillar 930K*



(Zdroj: PLÍVA., 2016)

2. Odpady dřeva a dřevin z údržby zelené se před kompostováním drtí, k tomuto zpracování je zde využíván drtič Doppstadt AK 430.

Obr. č. 6.: *Drtič bioodpadu Doppstadt AK 430*



(Zdroj:<http://www.ms-pisek.cz/mestska-kompostarna>)

3. Intenzivní provzdušňování zpracovávaných surovin, které jsou založené do pásových hromad, je zajištěno taženým překopávačem kompostu DU 265 – Panda. Překopávání hromad je prováděno několika přejezdy překopávače kompostu, který je tažen kolovým traktorem Lamborghini R6.160 DCE. Mezi jednotlivými hromadami je ponechána ulička asi 3,5 m, která jednak umožňuje průjezd traktoru a jednak odděluje jednotlivé hromady s různým datem založení. Četnost překopávání je přímo závislá na druhu zpracovávaných surovin, jejich

surovinovém složení a s tím související teplotou/vlhkostí zakládky. V případě potřeby zvýšit vlhkost kompostovaných surovin, jsou při operaci překopávání nebo těsně před překopáváním zavlažovány hadicí.

Obr. č. 7.: *Překopávač bioodpadu Doppstadt*



Zdroj: <http://www.ms-pisek.cz/mestska-kompostarna>

Obr. č. 8.: *Kolový traktor Lamborghini R6.160 DCE*



Zdroj: <http://www.ms-pisek.cz/mestska-kompostarna>

4. Vyrobený kompost je proséván pomocí bubnového třídiče Doppstadt SM 518 s velikostí otvorů síta 20 x 20 mm, po prosetí je homogenizován se zeminami v různém poměru (PLÍVA, 2016).

Obr. č. 9.: *Bubnový třídič Doppstadt SM 518*



Zdroj: <http://www.ms-pisek.cz/mestska-kompostarna>

Tab. č. 7.: *Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků*

Název zkoušky	Jednotky	Výsledek
Sušina	% ve vzorku	
pH	jednotky	6-8,5
Spalitelné látky	% ve vzorku	Min. 25
Arsen (As)	mg/kg suš.	20
Chrom (Cr)	mg/kg suš.	250
Kadmium (Cd)	mg/kg suš.	3
Měď (Cu)	mg/kg suš.	400
Nikl (Ni)	mg/kg suš.	100
Olovo (Pb)	mg/kg suš.	300
Rtuť (Hg)	mg/kg suš.	1,5
Suma PAU	mg/kg suš.	6
Dusík celkový	% ve vzorku	Min 0,6
Molybden (Mo)	mg/kg suš.	20
Zinek (Zn)	mg/kg suš.	1200
Suma PCB	mg/kg suš.	0,2
Poměr C:N		20-30:1
Nerozložitelné příměsi	%	2

(Zdroj: www.eagri.cz)

4.2.5. Vyrobený produkt

Produktem kompostárny je kompost odpovídajících jakostních znaků, který v současné době nemůže být z důvodu obdržené dotace prodáván, takže je využíván provozovatelem pro vlastní potřebu. Je tedy využíván pro údržbu veřejných zelených ploch, rekreačních a sportovních ploch v Městě Písku a přilehlých obcích, nebo je převážen na skladovací plochy.

Obr. č. 10.: *Hromada vyrobeného kompostu v kompostárně Písek.*



(Zdroj: Vlastní)

Tab. č. 8.: Rozbor složení a obsahu vybraných látek v kompostu z kompostárny Písek

Název zkoušky	Jednotky	Výsledek	Limity	Nejistota měření	Metoda
Sušina	% ve vzorku	62,82		±0,6 %	SOP 24 (ČSN EN 14346 , ČSN EN ISO 18134-2,3 (z))
pH		8,68			(ČSN 46 7092-42) *
Draslík (K)	% ve vzorku	1,254			IM 30 AAS *
Fosfor (P)	% ve vzorku	0,176		±19%	SOP 11 (Javorský, Krečmar: Chem. rozb. v zem.lab., 1987)
spalitelné látky	% ve vzorku	14,08			SOP24 (ČSN EN 14774-2,3) *
Arsen (As)	mg/kg suš.	12,30		±20%	SOP D06-02-001 (ICP-OES) +
Chrom (Cr)	mg/kg suš.	47,1		±11 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Kadmium (Cd)	mg/kg suš.	0,29		±11 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Měď (Cu)	mg/kg suš.	40,5		±7 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Nikl (Ni)	mg/kg suš.	26,0		±17 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Olovo (Pb)	mg/kg suš.	24,9		±6 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Rtuť (Hg)	mg/kg suš.	0,080		±10 %	ČSN 75 7440, ČSN 46 5735 (SOPD0607004) +
Suma PAU	mg/kg suš.	3,59		±30%	SOP D06-03-161 (US EPA 8270, ČSN EN ISO 6468, US EPA 8000D) +
Dusík celkový	% ve vzorku	0,73		±1,1%	SOP 6 (P. Javorský, F. Krečmar: Chemické rozbor v zemědělských laboratořích, Praha 1987) *
Molybden (Mo)	mg/kg suš.	0,76			SOP D06-02-001 (ICP-OES) +
Zinek (Zn)	mg/kg suš.	143,8		±22%	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
suma PCB	mg/kg suš.	<0,020			SOPD0603161 (EPA 8270, EPA 8131, EPA 8091, ČSN EN ISO 6468)) +
poměr C:N		19,2:1			výpočtem *
nerozložitelné příměsi	%	9,3			(ČSN 46 5735) *

4.3. Technologie kompostování a odběry vzorků pro analýzu

Vzorky byly odebrány v 10. měsíci roku 2017. Odebraný kompost byl založen z biomasy kompostované od druhém kvartálu. Zeleně zvýrazněný sloupec udává kvartál odběru vzorků kompostu pro analýzu. Z tabulky můžeme dále vyčíst, že nejvíce odpadu vzniklého ve městě Písku je z veřejné zeleně, nejméně odpadu je ze sběrných dvorů. Dále je možné určit, že nejvíce odpadu vzniká v 7-9. měsíci tedy ve třetím kvartálu, nejméně v prvním kvartálu tedy 1-3. měsíci.

Tab. č. 9.: Svoz bioodpadu v kvartálech ve městě Písek za rok 2016 a 2017.

	2016			
Roční období	1-3. měsíc	4-6. měsíc	7-9. měsíc	10-12. měsíc
Obyvatelé	179,2 t	538,8 t	648,4 t	368,4 t
Sběrné dvory	27,3 t	40,5 t	51 t	41 t
Veřejná zeleň	507,23 t	2738,34 t	2856,31 t	1868,92 t
	2017			
Roční období	1-3. měsíc	4-6. měsíc	7-9. měsíc	10-12. měsíc
Obyvatelé	200,12 t	475,5 t	465,7 t	374,8 t
Sběrné dvory	26,12 t	34,5 t	32,47 t	129,8 t
Veřejná zeleň	919,98 t	1336,94 t	1914,11 t	1327,01 t

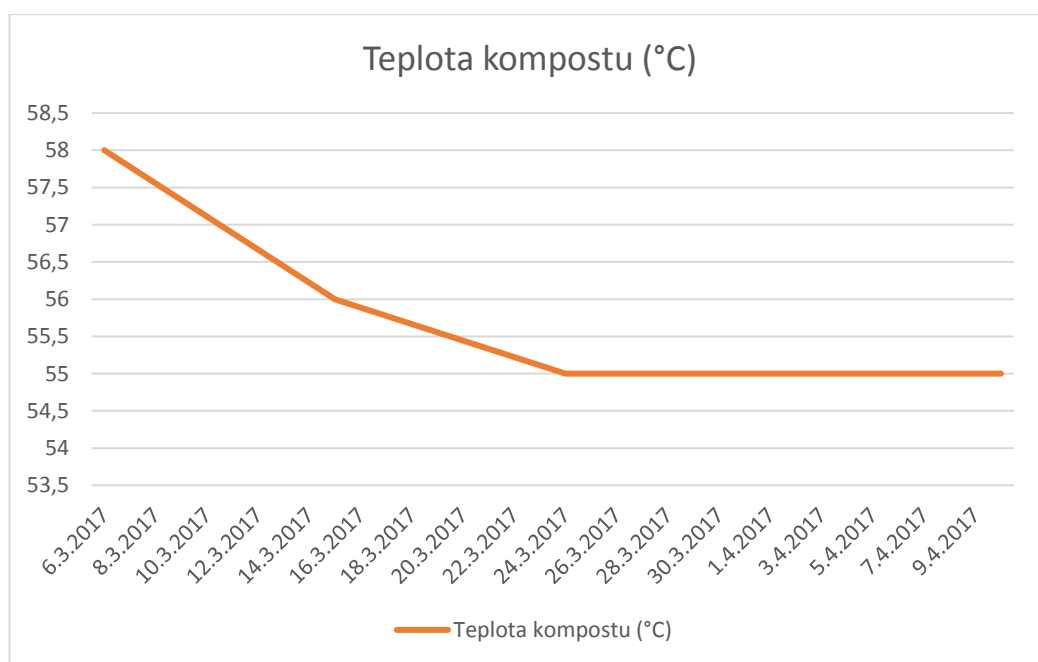
V prvním kvartálu tvoří kompost hlavně zbytky listů a větví, které se nestačí sklídit před zimou. V druhém kvartálu tvoří zakládku převážně první seč městské zeleně a části stromů a keřů, které se v jarních měsících upravují. Ve třetím kvartálu roku je hlavním zdrojem pro zakládku městská zeleň, tvořená hlavně travní biomasou. V posledním čtvrtém kvartálu je zakládka tvořená převážně spadaným listím a poslední sečí travní zeleně. Ve všech kvartálech jsou nedílnou součástí zakládky materiály vybrané ze svozu bioodpadu od obyvatel. Tyto odpady ne vždy tvoří materiály, které jsou kompostovatelné.

Zhruba měsíc po první zakládce je kompost poprvé překopán a upraven opět do figury. V průběhu této první fáze tlecího procesu je zakládka sledována a v případě suchého počasí kropena. Po dalších zhruba 3–5 týdnech (dle ročního období) je hmota opět překopána a opět v případě potřeby kropena. V zimním období probíhá proces tlení pomaleji než v letním období. Zhruba po dalším měsíci pak pracovník vyhodnotí aktuální stav zakládky, a pokud je ve stavu absolutního zetlení, tak jej přetřídí třídícím bioodpadu. Celý tlecí proces trvá zhruba 3-4. měsíce od doby dovezení bioodpadu, po vytřídění finálního produktu. Kompost se pak využívá při výsadbách stromů a okrasných dřevin, květinových záhonů a na terénní úpravy i dosypávání travnatých ploch na veřejné zeleni ve městě Písku.

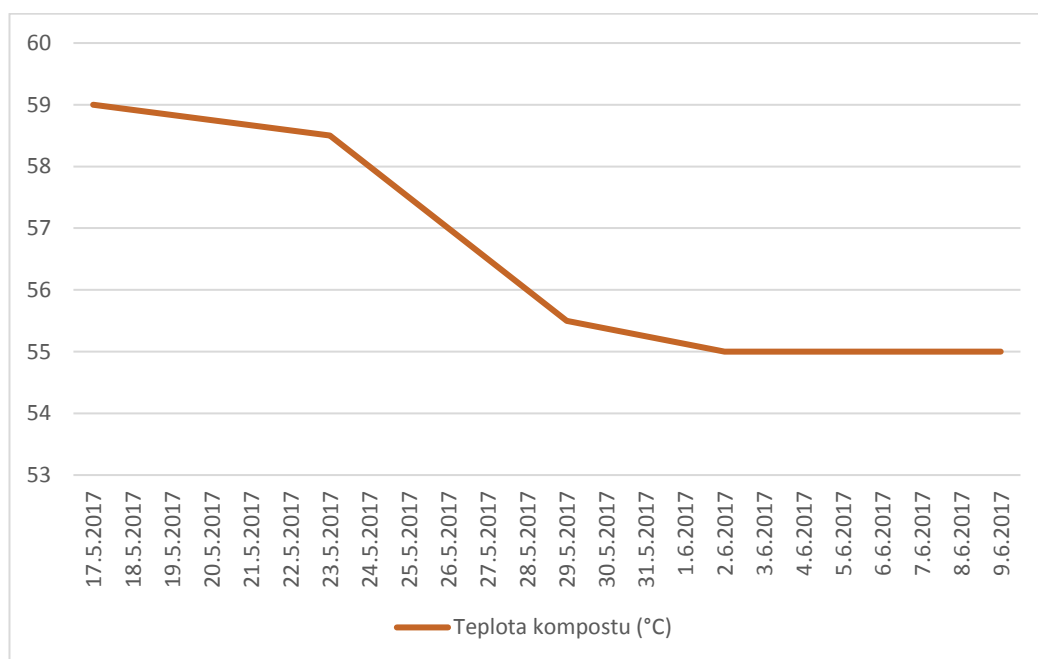
V kompostárně po navezení se materiál upraví do kompostovacích hromad a nechá tlít. Zhruba po dvou týdnech, kdy se začne z hromad kouřit, se začíná s měřením

teplot. Teplota v hromadě vystoupá na teplotu okolo 60 °C. Měření se provádí každý týden, nebo po uvážení pracovníka kompostárny a měří se v průběhu jednoho měsíce, dokud se teplota neustálí na teplotu kolem 55 °C. V případě, že složení navezených materiálů neobsahuje dostatečné množství větších kusů k zajištění provzdušnění, průběžně se do hromady přidává štěrka.

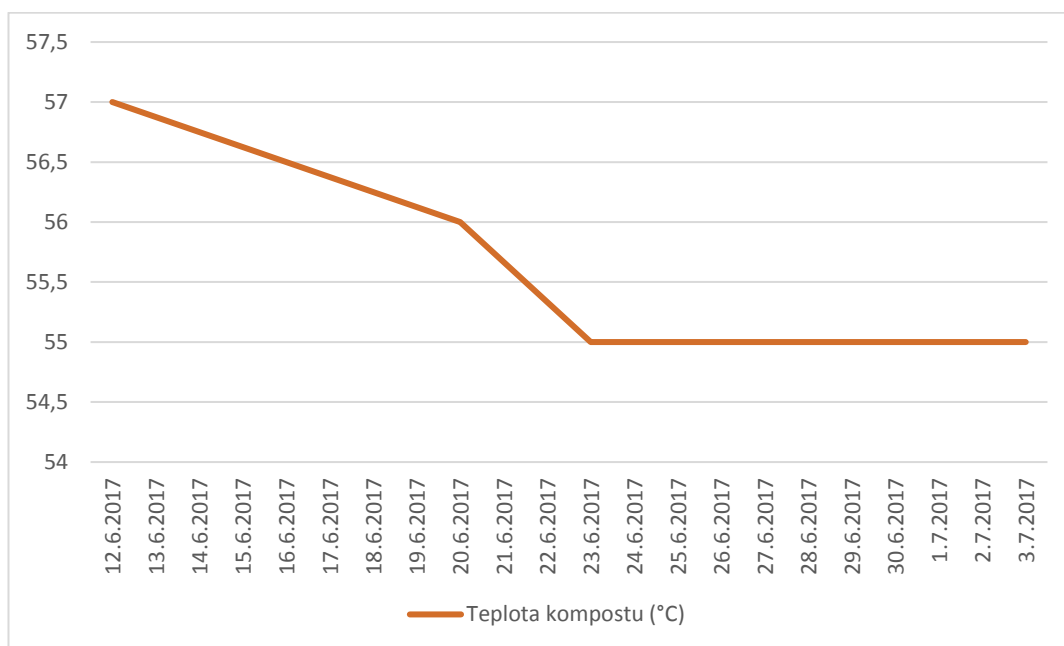
Graf. č. 2.: Teploty kompostované hromady č. 1.



Graf. č. 3.: Teploty kompostované hromady č.2.



Graf. č. 4.: Teploty kompostované hromady č. 3.



Kompostovací hromada č. 1 byla založena 28. 2. 2017 a ukončena 9. 8. 2017. Hromada č. 2 byla založena 3. 5. 2017 a ukončena 6. 10. 2017, a hromada č. 3 byla založena 5. 6. 2017 a ukončena 20. 12. 2017. Z výše uvedeného textu můžeme vyčíst, že hromady jsou na ploše zhruba 5–6 měsíců, podle maximálních teplot, kterých hromady dosáhnou. Teploty kompostovacích hromad jsou znázorněny v grafech.

Obr. č. 11.: Nejdéle tlející hromada na kompostárně Písek.



Zdroj: Vlastní.

4.4. Hodnocení kvality kompostu z městské kompostárny Písek

Stěžejní náplní této práce bylo laboratorní zjištění iontovýměnné kapacity kompostu z kompostárny Písek.

Homogenita odebraného vzorku byla zajištěna odběrem z pěti různých stanovišť hromady kompostovaného materiálu. Vzorek vysušeného kompostu vážil 2521 g. Po prosetí vzorku na síť s otvory o velikosti 0,2 mm byla váha vzorku 1643 g. Nadsítný podíl byl 878 g., který byl tvořený především kameny a nerozloženou dřevní štěpkou.

$$\begin{array}{r} 2521 \text{ g} \dots\dots\dots 100 \% \\ 1643 \text{ g} \dots\dots\dots x \\ \hline x = 164300:2521 \\ x = 65,2 \% \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2521 \text{ g} \dots\dots\dots 100 \% \\ 878 \text{ g} \dots\dots\dots x \\ \hline x = 87800:2521 \\ x = 34,8 \% \end{array}$$

Pro účely pokusu bylo odváženo 20 vzorků přesetého kompostu o přesné navážce 5,0 g.

4.4.1. Stanovení maximální sorpční kapacity T konduktometricky dle Sandhoffa

4.4.2. Faktorizace hydroxidu barnatého Ba(OH)₂

Do 2 kádinek nalijeme 10 ml Hydroxidu barnatého. Poté nakapeme 3 kapky fenoftaleinu a titrujeme Kyselinu šťavelovou o molární koncentraci 0,2 mol. l⁻¹, dokud vzorek nezmění barvu.

$$\begin{array}{l} 1. \text{ Spotřeba } H_2C_2O_4 = 10,2 \text{ ml} \\ 2. \text{ Spotřeba } H_2C_2O_4 = 10,6 \text{ ml} \end{array} \quad \begin{array}{l} \diagdown \\ \diagup \end{array} \quad \begin{array}{l} \varnothing 10,4 \text{ ml} = 10/10,4 = f = 0,9615 \end{array}$$

Pro stanovení iontovýměnné kapacity podle Sandhoffa, byl pro všechny vzorky použit roztok hydroxidu barnatého s faktorem: $f = 0,9615$.

4.4.3. Popis stanovení metody podle Sandhoffa

Na začátku celého procesu je důležitá přesná navážka 5 g kompostu do vysokých kádinek na 250 ml. Navážku zalijeme 100 ml 0,1 M HCl a přikryjeme hodinovým sklíčkem. Takto připravená suspenze se zahřívá na laboratorní varné desce při teplotě 50 °C (nebo v termostatu). Zahřívá se po dobu 30 minut. Po ukončení

procesu zahřívání se celý obsah kádinky vyleje do nálevky s filtračním papírem a promývá se destilovanou vodou pro vymytí iontů Cl^- .

Po dokončení promývání se provádí pokus, kdy se nakape několik kapek promývaného roztoku kompostu na hodinové sklíčko, a poté se na něj nakape pár kapek AgNO_3 . V přítomnosti iontů Cl^- , se vytvoří bílá, opalizující sraženina. Při dostatečném vymytí Cl^- , se sraženina netvoří.

Následně se nálevka, ve které se nachází filtrační papír s promývaným vzorkem kompostu, přemístí do vysoké kádinky na 250 ml. Filtrační papír se protrhne míchátkem a všechny filtrát, který je prostý od chlóru se kvantitativně přenesou proudem destilované H_2O do kádinky. Připravenou půdní suspenzi dolijeme do objemu 150 ml destilovanou vodou.

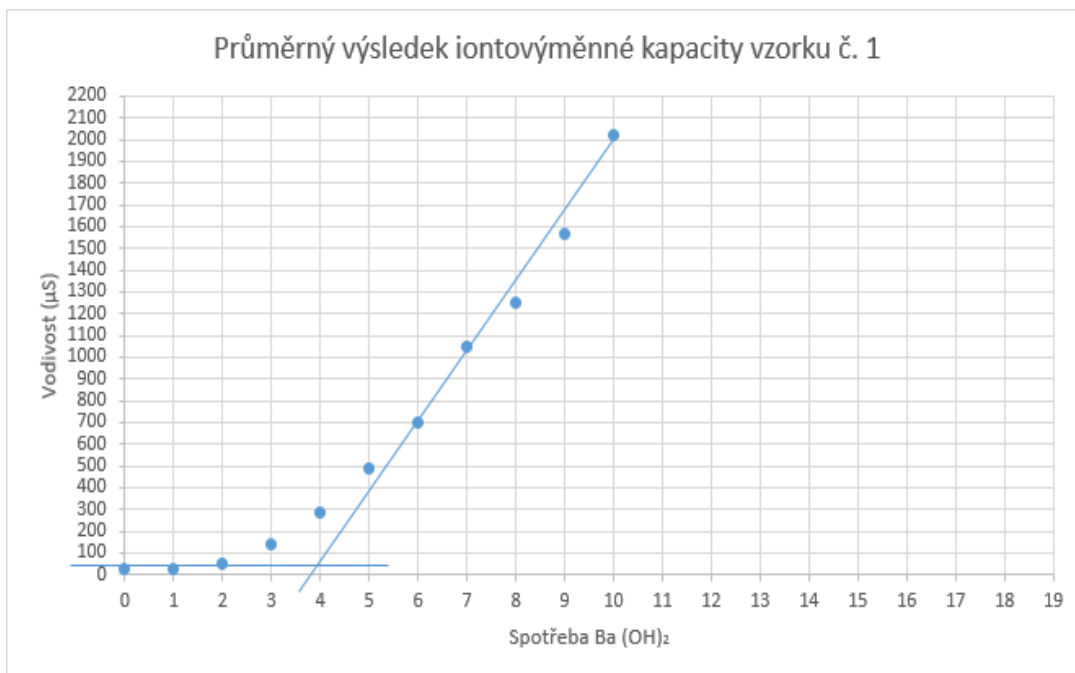
Do připravené suspenze se vloží míchadlo a elektroda, která je součástí přístroje na měření konduktivity. V minutových intervalech se přidáváme 1 ml $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Po minutě od přidání zapisujeme hodnotu vodivosti.

Vodivost jsem měřil na přístroji RADELKIS CONDUCTIVITY METER (type OK – 102/1). Po každé, když jsem měnil rozsah (od 50 – 5000 μS) jsem provedl kalibraci přístroje, aby nedošlo ke zkreslení výsledků.

4.4.4. Výsledky:

Výsledky laboratorního měření jsou uvedeny v následujících grafech, kdy na vodorovné ose byla vynesena spotřeba $\text{Ba}(\text{OH})_2$ v mililitrech a na kolmé ose vodivost v [μS]. Do každého grafu byly dosazeny dvě přímky, kdy jedna tečna je sestrojena k vodorovné větvi a druhá tečna protíná tři konstantní nárůsty vodivosti. Jejich průsečík udává spotřebu roztoku $\text{Ba}(\text{OH})_2$ v ml při dosažení sorpční kapacity – tzv. bodu ekvivalence, který byl dosazen do vzorce.

Graf č. 5.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,5 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

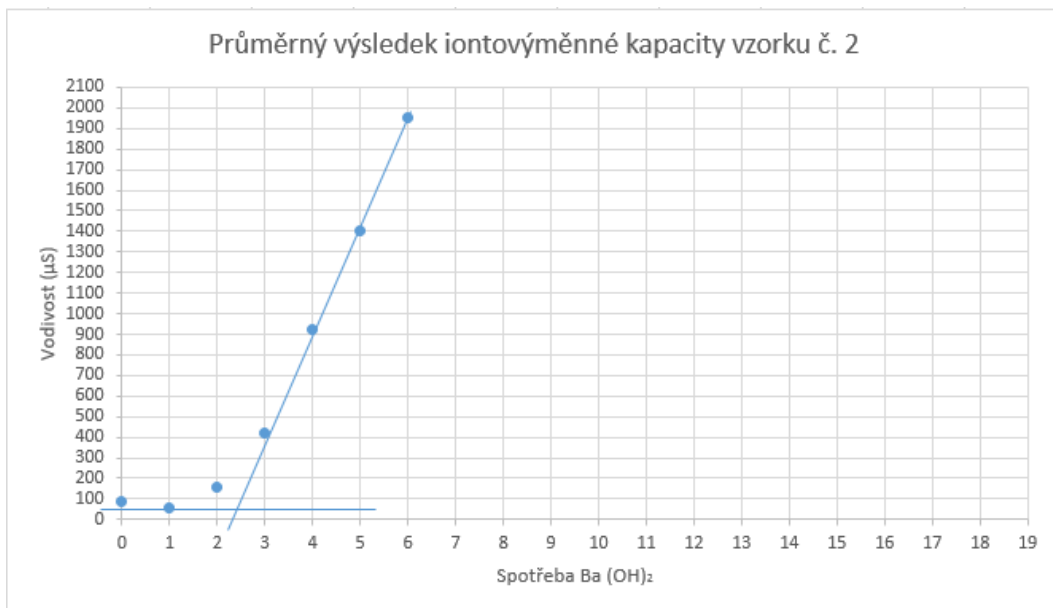
N

$$T = \frac{3,5 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 13,46 \hat{=} 13,5 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 6.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 2,4 \text{ ml } Ba(OH)_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

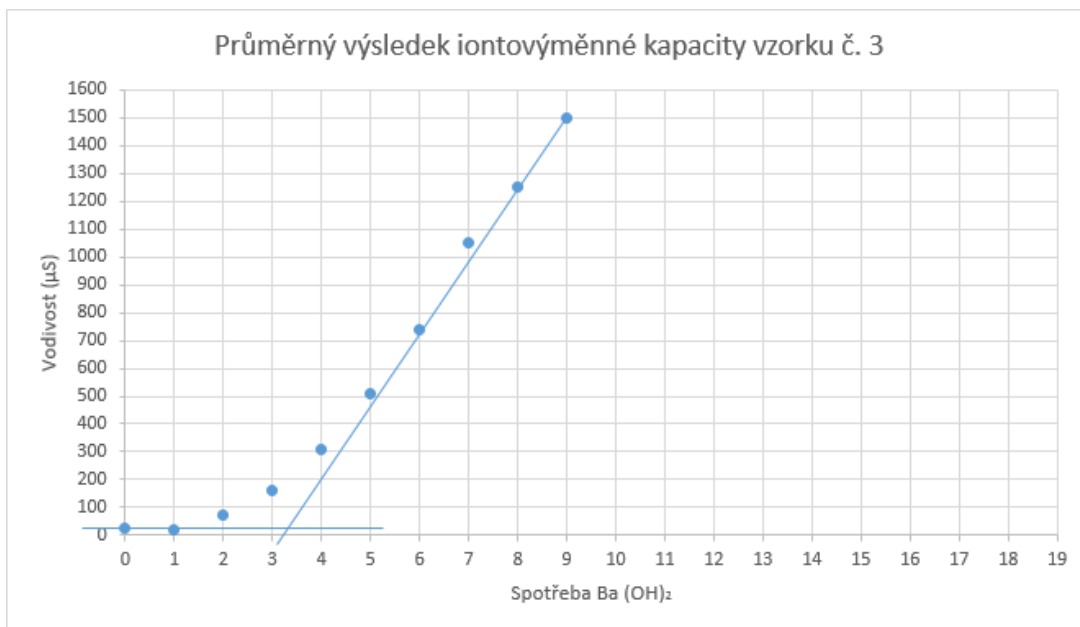
N

$$T = \frac{2,4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 9,23 \doteq 9,3 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 7.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,1 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

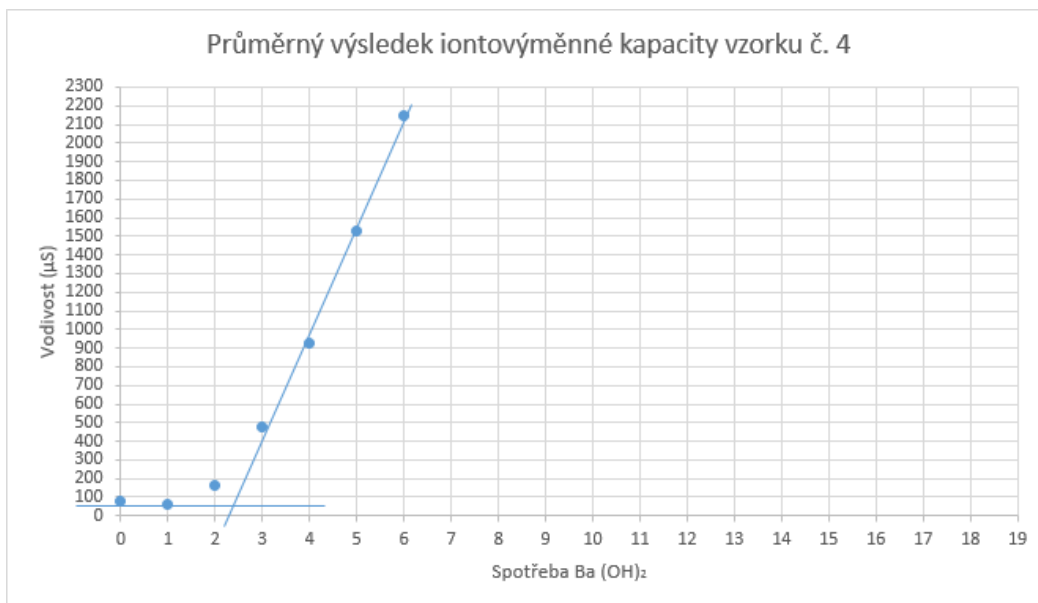
N

$$T = \frac{3,1 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 11,92 \doteq 11,9 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 8.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 2,3 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{2,3 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 8,85 \doteq 8,9 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 9.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,2 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{3,2 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 12,3 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 10.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,3 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

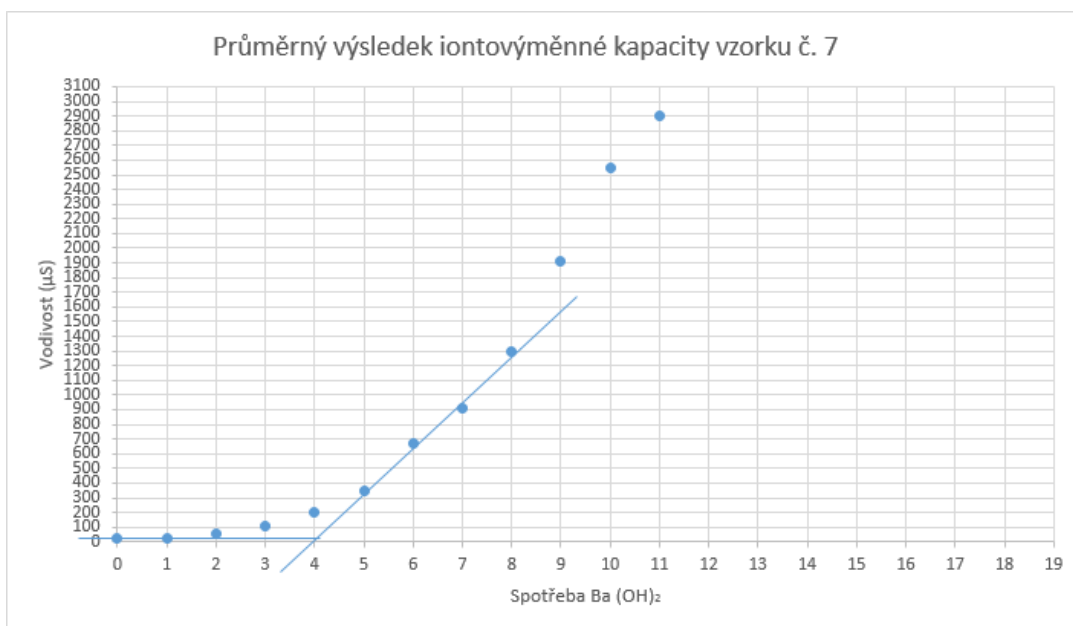
N

$$T = \frac{4,3 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 16,53 \doteq 16,5 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 11.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,1 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

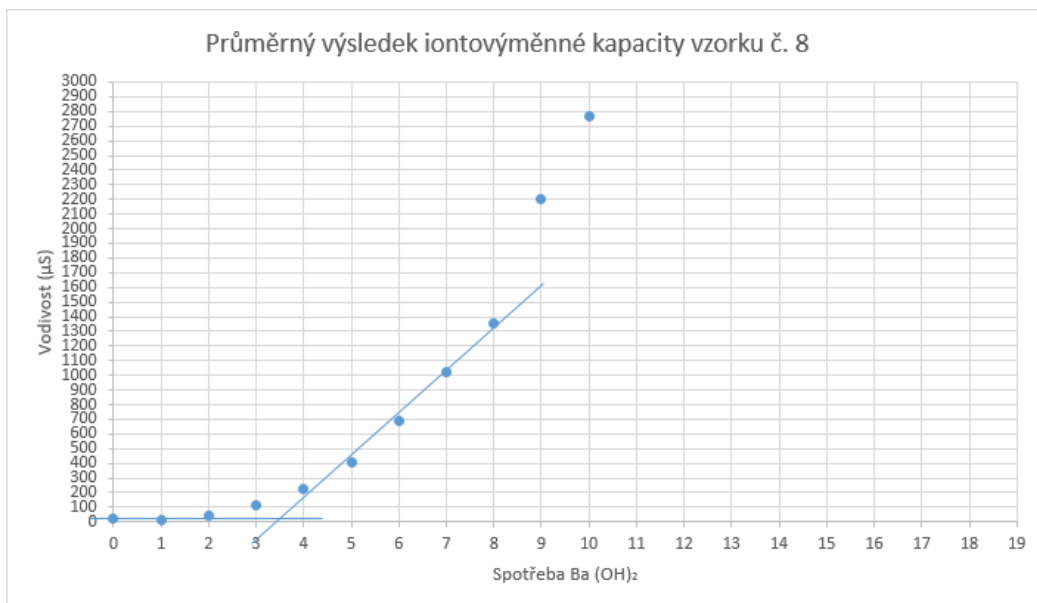
N

$$T = \frac{4,1 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 15,77 \doteq 15,8 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 12.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,5 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{3,5 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 13,46 \approx 13,5 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 13.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,3 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4,3 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 16,53 \doteq 16,5 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 14.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,3 \text{ ml } Ba(OH)_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

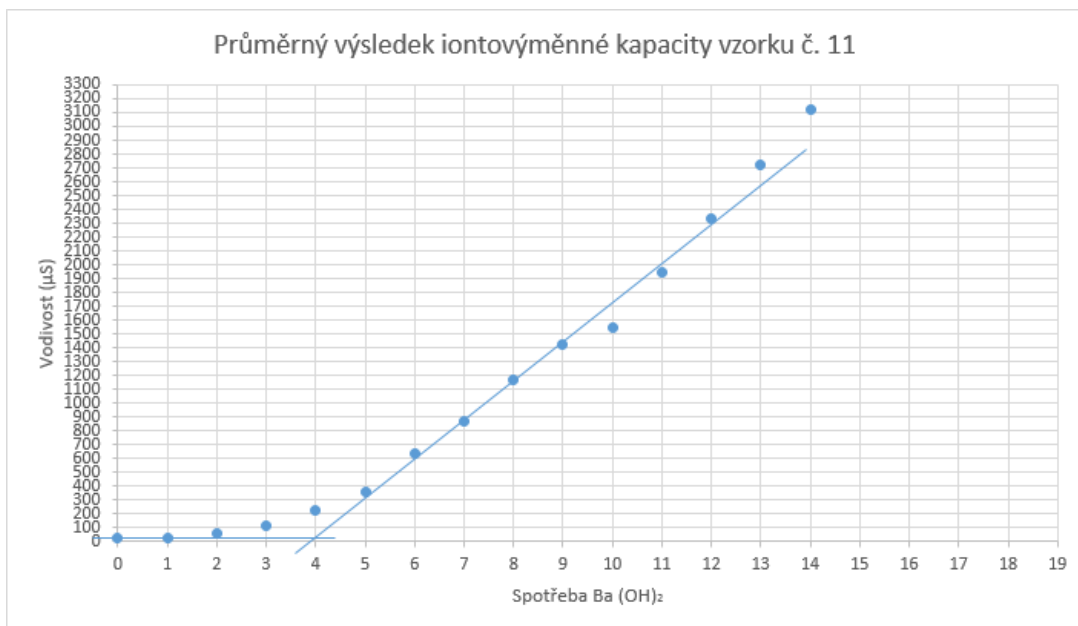
N

$$T = \frac{4,4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 16,92 \doteq 16,9 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 15.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,9 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{3,9 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 14,99 \doteq 15 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 16.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,7 \text{ ml } Ba(OH)_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 18,08 \doteq 18,1 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 17.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 3,7 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{3,7 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 14,23 \doteq 14,2 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 18.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,6 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4,6 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 17,69 \doteq 17,7 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 19.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 15,38 \doteq 15,4 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 20.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4 \text{ ml } Ba(OH)_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 15,38 \doteq 15,4 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 21.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,2 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

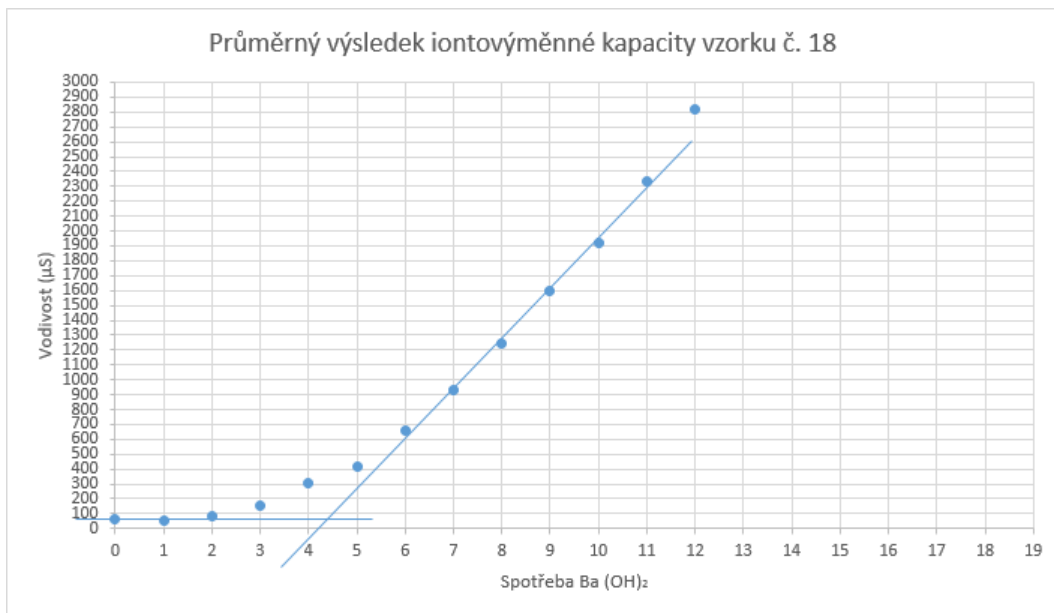
N

$$T = \frac{4,2 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 16,15 \doteq 16,2 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 22.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,4 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4,4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 16,92 \doteq 16,9 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 23.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4,5 \text{ ml } Ba(OH)_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

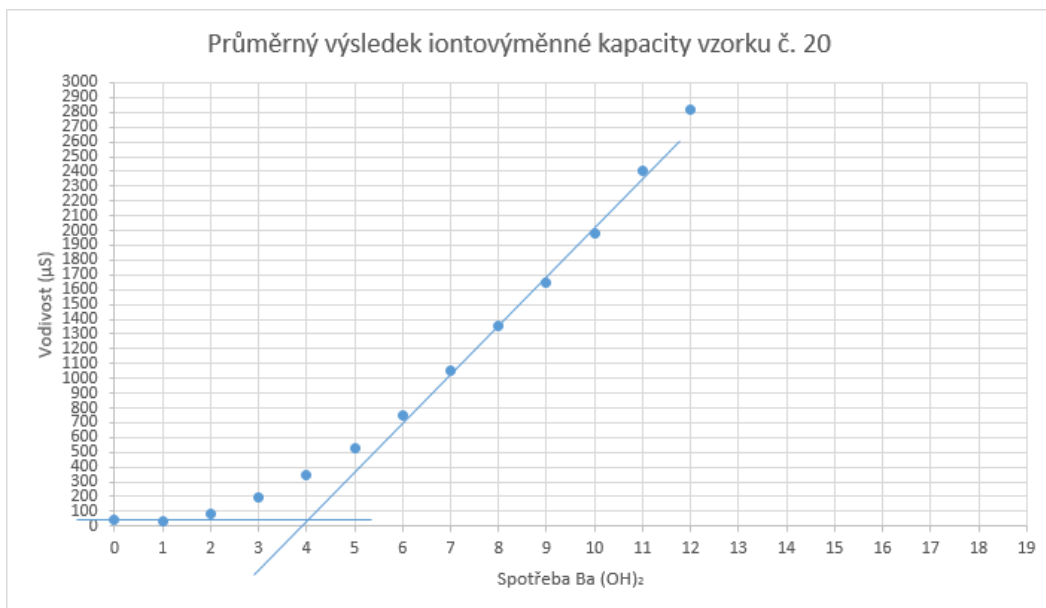
N

$$T = \frac{4,5 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 17,31 \doteq 17,3 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Graf č. 24.: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



$$S = 4 \text{ ml Ba(OH)}_2$$

$$T = \frac{S \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

N

$$T = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 0,9615 \cdot 100}{5}$$

5

$$T = 15,38 \doteq 15,4 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ kompostu}$$

Tab. č. 10.: *Souhrn výsledků analyzovaných vzorků kompostu.*

Pokus	mval. 100g ⁻¹	Pokus	mval. 100g ⁻¹
Vzorek č. 1.	13,5	Vzorek č. 11.	15
Vzorek č. 2.	9,3	Vzorek č. 12.	18,1
Vzorek č. 3.	11,9	Vzorek č. 13.	14,2
Vzorek č. 4.	8,9	Vzorek č. 14.	17,7
Vzorek č. 5.	12,3	Vzorek č. 15.	15,4
Vzorek č. 6.	16,5	Vzorek č. 16.	15,4
Vzorek č. 7.	15,8	Vzorek č. 17.	16,2
Vzorek č. 8.	13,5	Vzorek č. 18.	16,9
Vzorek č. 9.	16,5	Vzorek č. 19.	17,3
Vzorek č. 10.	16,9	Vzorek č. 20.	15,4

Tab. č. 11.: *Kvalitativní hodnocení iontovýmenné kapacity T podle Sandhoffa.*

>30 mval. 100 ⁻¹ g	Velmi vysoká
25-35 mval. 100 ⁻¹ g	Vysoká
13-24 mval. 100 ⁻¹ g	Střední
8-12 mval. 100 ⁻¹ g	Nízká
<8 mval. 100 ⁻¹ g	Velmi nízká

4.5. Statistické zhodnocení výsledků analýzy kompostu z městské kompostárny

Písek

Výsledky naměřených hodnot se pohybují v rozptylu od 8,9 do 18,1 mval. 100 g. Průměrná naměřená hodnota je 14,835 mval. 100 g kompostu.

4.5.1. Dixonův test extrémních odchylek

Pro hodnocení jsem provedl na hladině významnosti 5 %, kde koeficient Q_k pro 20 měření je 0,300.

Tab. č. 12.: Výčet výsledků měření pro Dixonův test extrémních odchylek

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
8,9	9,3	11,9	12,3	13,5	13,5	14,2	15	15,4	15,4
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}
15,4	15,8	16,2	16,5	16,5	16,9	16,9	17,3	17,7	18,1

Variační rozpětí

$$R = x_{20} - x_1 = 18,1 - 8,9 = 9,2$$

Q minimální pro X_1 :

$$Q_{\min} = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{9,3 - 8,9}{9,2} = 0,043$$

Q maximální pro X_{20} :

$$Q_{\max} = \frac{x_{20} - x_{19}}{R} = \frac{18,1 - 17,7}{9,2} = 0,043$$

Tabulková hodnota Q kritického pro 20 stanovení je 0,300. Hodnota Q maximálního je menší než 0,300. Hodnota Q minimálního je také menší než 0,300.

4.5.2. Výpočet mediánu

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
8,9	9,3	11,9	12,3	13,5	13,5	14,2	15	15,4	15,4
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}
15,4	15,8	16,2	16,5	16,5	16,9	16,9	17,3	17,7	18,1

$$\tilde{x} = \frac{x\left(\frac{n}{2}\right) + x\left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2}$$

$$\tilde{x} = \frac{(15,4 + 15,4)}{2}$$

$$\tilde{x} = 15,4 \text{ mval. 100g} - 1$$

4.6. Diskuze

4.6.1. Porovnání výsledků iontovýmenné kapacity kompostů z městské kompostárny Písek a z kompostárny Březnice.

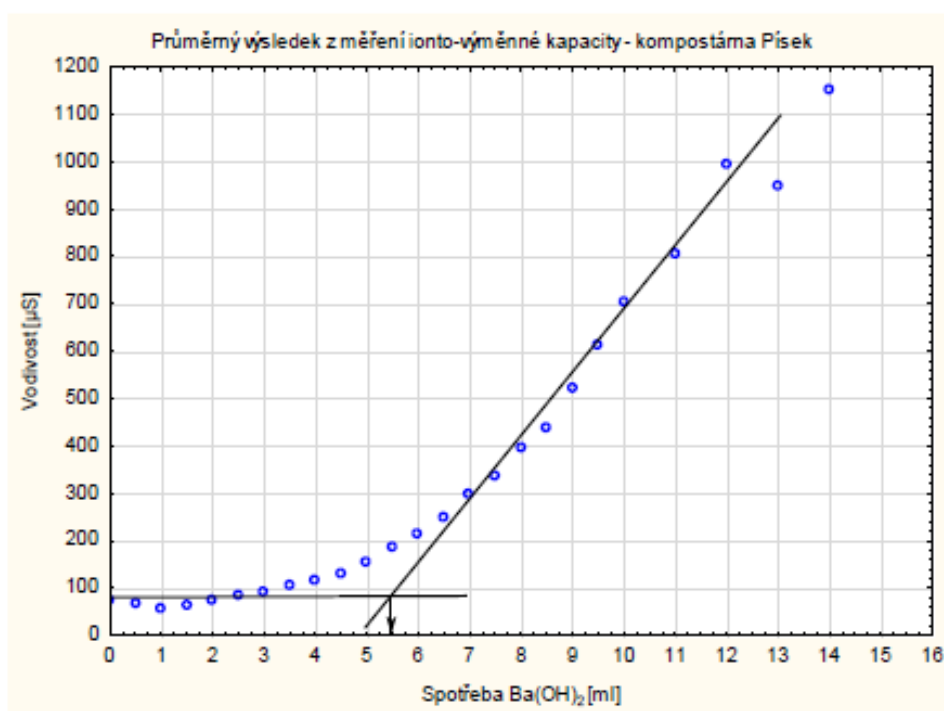
Pro porovnání kvality kompostů z různých městských kompostáren, jsem použil výsledky rozboru vzorků odebraných z městské kompostárny Písek a z kompostárny Březnice (BARTUNĚK, 2017).

Pro tento vzorek byl použit roztok Ba(OH)₂ s odlišným faktorem: $f = 1,010$

Tab. č. 13.: Výčet výsledků měření kompostu z městské kompostárny Písek dle Bartuňka z roku 2016.

1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
23,2	14,75	23,2	30,1	22,8

Graf. č. 25: Vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Písek dle Bartuňka (2016).



$$S = 5,5 \text{ ml}$$

(Zdroj: BARTUNĚK, 2017)

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{5,5 \cdot 0,2 \cdot 1,010 \cdot 100}{5}$$

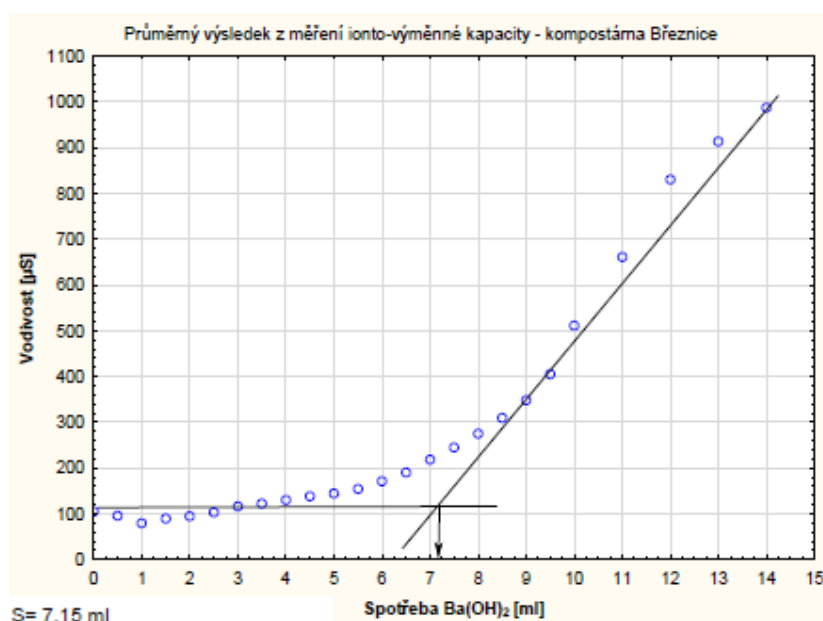
$$T = 22,2 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Podle výsledků získaných při analýze iontovýmenné kapacity je možné soudit, že u tohoto kompostu není dostatečná kapacita pro iontovou výměnu, jakou bychom u kvalitního kompostu očekávali. S výslednou průměrnou iontovýmennou kapacitou 22,2 mval. 100 g půdy je kompost ještě slabší než kompost kompostárny Březnice (Bartuněk, 2016).

Tab. č. 14.: Výčet výsledků měření kompostu z kompostárny Březnice dle Bartuňka z roku 2016.

1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
17,96	28,7	28,7	30,18	30,55

Graf. č. 26.: Vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Březnice dle Bartuňka (2016).



$$T = \frac{s.n.f.100}{N}$$

$$T = \frac{7,15 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 26,5 \text{ [mval. 100 g půdy]}$$

(Zdroj: BARTUNĚK, 2017)

Průměrným výsledkem měření iontovýmenné kapacity, kterého bylo dosaženo v kompostu původem z kompostárny v Březnici je 26,5 mval. 100 g půdy (BARTUNĚK, 2017).

Příčinou nižší iontovýměnné kapacity může být především nedostačující provzdušňování kompostovaných hromad. Podle slov vedoucího městských služeb pana Gareise (2017) dochází k překopávání hromad až v době, kdy je kapacita jedné hromady zcela zaplněna.

Mezitím uvnitř hromady nedochází k dostatečnému provzdušňování, což vede k problémům s rozkladem organické hmoty. Nedostatečný obsah kyslíku v kompostovaném substrátu velmi významně ovlivňuje mikroflóru a tím pádem i následný rozklad a humifikační procesy, jenž sebou do substrátu tyto organismy a děje přinášejí. Míra spotřeby kyslíku (dynamický respirační index) je jeden z nejspolehlivějších ukazatelů mikrobiální aktivity v prostředí kompostovaného materiálu. Ukazatel spotřeby kyslíku se v průběhu procesu mění, proto je třeba v případě pozorování mít na paměti že např. v počáteční fázi kompostování je spotřeba kyslíku nízká a kolísá společně s aktivitou mikroorganismů (GEA *et al.*, 2004).

S nedostatkem kyslíku v procesu nastává změna v rozkladu organické hmoty. Pokud není zabezpečen dostatečný přísun kyslíku, nastává tzv. anaerobní hnití. Díky tomuto procesu se začínají tvořit plyny velmi výrazného zápachu (např. metan, sirovodík a další). Na tomto procesu se podílejí především patogenní mikroorganismy, které jsou zdraví škodlivé a kompost se tak stává nevhodný pro běžné používání (HULEŠ, 2007). Je nutné zde zdůraznit, že kompost z městské kompostárny Písek vykazuje stejnou iontovýměnnou kapacitu jako půdy se střední iontovýměnnou kapacitou, a proto je možné výchozí kompost doporučit, pro méně úrodné půdy, jako zlepšující substrát. Pokud bude kompost využit při parkových úpravách, je průměrná kapacita 14,835 mval .100 g půdy z roku 2017 dostačující a společně s hnojivým účinkem tohoto substrátu bude dosaženo kvalitních výsledků při pěstování okrasné zeleně.

Pokud porovnáme výchozí komposty z kompostárny v Březnici s kompostárnou v Písku, tak písecká kompostárna by na základě kapacitních podmínek a kvality kompostovací linky měla produkovat kompost vyšší iontovýměnné kapacity, než je tomu doposud a Březnickou kompostárnu by měla zásadně převyšovat (BARTUNĚK, 2017).

4.7. Návrh optimální technologie kompostování BRO, BRKO a org. materiálů v městské kompostárně Písek.

Pro městskou kompostárnu Písek bych doporučil stejný typ procesu, který se zde provozuje tedy klasické průmyslové kompostování v pásových hromadách na volné ploše, s častým překopáváním a zavlažováním, které je všeobecně známé a nebude činit problém, jej zvládnout s vybavením, které kompostárna vlastní.

Z hlediska získaných informací na základě pokusů s iontovýměnnou kapacitou je možné říci, že proces kompostování v klasických městských kompostárnách nefunguje příliš dobře. Průměrný výsledek iontovýměnné kapacity v městské kompostárně Písek je 14,835 mval .100 g půdy na rozdíl od soukromých kompostáren jako například kompostárna Želivec a.s., kde se průměrná hodnota pohybuje 75,11 mval .100 g půdy, jak uvádí Chlumská (CHLUMSKÁ, 2017).

Vhodnou zakládkou kompostu vytvoříme kvalitní prostředí pro organismy (dekompozitory). Materiály vhodné pro kompostování musí jednoznačně vycházet z organických zbytků, jež jsou produkovány v nejbližším okolí. Jedná se především o odpady vznikající při údržbě zahrad, odpady vznikající při údržbě městské zeleně a zeminu z terénních úprav. V zásadě se dostáváme k následujícím materiálům: posekaná tráva, nadrcené větve, listy, půda, specifické druhy hospodářských odpadů (kravský hnůj). Pokud chceme uspíšit proces rozkladu organické hmoty u nově založeného kompostu, je možné přidat pro inokulaci vyzrálý kompost, aby došlo k rychlejšímu namnožení dekompozitorů (MACH, 2008).

Závažné je při optimalizaci surovinové skladby stanovení vlhkosti čerstvého kompostu. Nedostatečná vlhkost způsobuje vývoj nevhodné mikroflóry s převahou plísní a aktinomycet. Při nadbytečné vlhkosti dochází rychle k nedostatku kyslíku v kompostu. Optimální vlhkost je taková, při níž je 70% pórovitosti čerstvého kompostu zaplněná vodou.

Vlhkost bude hrát stěžejní roli v celém procesu kompostování. Kompostárna se bude nacházet na otevřeném prostranství, a tak hrozí možnost vysušování větrem či sluncem. Kompostárna je vybavena podzemní nádrží na 50 000 l dešťové vody s možností dočerpání z městských zásob. Čemuž se chce město vyhnout z důvodu vysokých cen za vodu. V kompostárně vše musí obstarat jeden zaměstnanec, což může hrát velkou roli při sledování všech parametrů kompostovacího procesu. Proto by pro zlepšení kvality výsledného kompostu bylo dobré přijmout ještě minimálně jednoho zaměstnance.

S využitím běžných komunálních odpadů, kterými mohou být například travní hmota, křoviny, větve a jiný organický materiál lze vytvořit pomocí běžného průmyslového kompostování kvalitní komposty, které budou nejen šetrné k životnímu prostředí, ale velmi dobře poslouží městu a jeho okolí jako náhrada za některá anorganická hnojiva, a to především díky zvýšenému obsahu prvků dusíku (N) a fosforu (P) (HERMANN, DEBEER, WILDE, BLOK a PATEL 2010).

Z celkového hlediska bych tedy navrhol již zmíněné kompostování v pásových hromadách na volné ploše s překopáváním do boku. Především je důležité zdůraznit finanční nenáročnost této technologie. Velkou výhodou tohoto typu je naprostá kontrola nad zpracovávaným odpadem a samozřejmě také neomezený přístup po celou dobu procesu. Na druhou stranu je nutné velmi pečlivě hlídat veškeré náležitosti, které doprovází kompostovací proces (hodnota pH, poměr C:N, teplota, a velmi důležitá je zde vlhkost).

4.8. Sledování poměru C:N při zakládce

Pokud vyrábíme kompost se zaměřením především na jeho kvalitu, musíme mimo dobré technologie zvolit také vhodnou skladbu surovinové základny s vhodným poměrem C:N. Tento poměr se má pohybovat nejčastěji od 25:1 do 40:1, jeho rozpětí bychom měli regulovat především v závislosti na kompostovaném materiálu, poměrem různých komponentů (ANGIMA, 2017).

Abychom u zralého kompostu docílili poměr C:N v rozmezí 25-30:1 je třeba optimalizovat C:N v čerstvém kompostu v rozmezí 30-35:1. V průběhu zrání (fermentace) kompostu ubývá část uhlíku jako kyslíčnick uhlíčitý a poměr C:N se zužuje. Nadměrně široký poměr C:N prodlužuje zrání kompostu (KUŽEL, 2016). Surovinovou skladbu kompostu a technologii kompostování je třeba přizpůsobit charakteru kompostovaného materiálu. Kvantitativně nejvýznamnějším materiálem z veřejné i soukromé zeleně je tráva. Chemické složení trávy z nízko sečených okrasných trávníků parkového typu je závislé na používání travní směsi a způsobu hnojení trávniku. Poměr C:N se pohybuje v rozmezí 22 – 30: 1 je zcela optimální pro zpracování technologií aerobního kompostování.

Další nedílnou součástí kompostu v městské kompostárně Písek je dřevní štěpka, která se před přidáním do procesu musí zpracovat na velikost 2 – 5 cm. Při kompostování dřevní štěpky je třeba zabezpečit optimální vlhkost a poměr C:N snížit přídatkem dusíkatých látek na 30 : 1.

4.9. Přídavek zeminy, urychlovačů

V městských kompostárnách bývá v největší míře zastoupena travní fytomasa. Stejně tomu tak je i v městské kompostárně Písek. Nadměrné množství tohoto materiálu vzniká především při údržbě městské zeleně. Pokud dojde k nadměrnému zatížení kompostovacího procesu travní fytomasou, může dojít k potížím z hlediska redukované objemové hmotnosti (přepočtené na sušinu), což je fyzikální vlastnost komplikující proces kompostování zneprůstupněním vzduchu (HEJTÁKOVÁ, 2007).

Jedním z vhodných přísadků do surovinové skladby při nadbytku travní fytomasy je zemina, především orníční skrývka. Kombinace těchto dvou materiálů je doporučena zejména kvůli struktuře zeminy a také z důvodu zabezpečení vhodné skladby mikroflóry. Dobrou strukturu nám zajistí přídavek 5–10 % zeminy v celkovém objemu. Místo zeminy je možné využít i vyzrálý kompost. Dále je možné využít lignocelulózový substrát, který zlepšuje fyzikální vlastnosti a zabezpečuje přirozenou pórovitost a ventilaci zrajícího kompostu. Přednostně je doporučováno využít dřevní štěpku, která je produktem drtiče (ANGIMA, 2017).

4.9.1. Možnost přísadku k organické hmotě, zeminy před nebo po kompostování při přípravě substrátu k expedici.

V kompostárně se z důvodu čerpání evropských dotací nemůžou substráty uvádět do prodeje, proto se prozatím vytvářejí tři typy substrátů, které se využívají pouze pro potřeby města. Nejčastějším typem je substrát smíchaný se zeminou o poměru 50 : 50. Tento typ se využívá především na plochy sídlištní zeleně v projektu revitalizace sídlišť, kde jsou půdy chudé na živiny. Dalším typem je poměr 2 (substrátu): 1 (zeminy), který se používá především v parcích a na ostatní městskou zeleň. Posledním nejméně používaným typem je poměr 1 : 2, tento typ je využíván jen na místech kde na povrch vystupuje skála nebo kde jsou značně kamenité povrchy. Před kompostovacím procesem se do zakládky nepřidává žádná zemina, v malém měřítku je zastoupena v navezeném materiálu připraveném ke kompostování.

5. Závěr:

Po shrnutí všech těchto informací dostáváme optimální model pro městskou kompostárnu Písek. Tento model by po technické stránce měl velmi dobře vyhovovat požadavkům dnešní doby a do budoucna zajistit dostatečnou produkci kvalitního kompostu pro celé město a kvalita kompostu bude záležet především na technologii a kvalifikovaném přístupu pracovníků, kteří pro zdárný průběh kompostování musí bezpodmínečně dodržet veškeré zde uvedené podmínky a v neposlední řadě tak zamezit kontaminaci substrátu nežádoucími látkami či dopustit poškození životního prostředí nevhodným nakládáním s tímto materiálem. S novým technickým vybavením, které již bylo z dotací Evropské unie pro kompostárnu nakoupeno, dokáží zaměstnanci technických služeb města Písek dobře zefektivnit celkový výrobní proces a dosáhnout tak výborných výsledků jak v kvalitě, tak v produkci konečného produktu, kterým bude kompost. Zpracovávaný materiál v kompostárně se i do budoucna bude skládat především z běžných komunálních odpadů jako např. posekaná tráva, kůra, okrasné dřeviny a větve. Jedná se tedy o veškerý nepotřebný organický materiál vyprodukovaný na pozemcích města i občanů. Tento biologický materiál bude kompostárna od občanů bezplatně odebírat a přetvářet ho na kvalitní kompost.

Kompost uváděný do oběhu by neměl být hodnocen jen podle parametrů, které určuje ČSN 46 5735 o Průmyslových kompostech, ale i podle stupně humifikace a KVK. Tyto aspekty oceňují nejen množství, ale i kvalitu vyrobeného kompostu. Kompost jako kvalitní hnojivo bude vyráběno pouze tehdy, budou-li dodrženy zásady pomalého kompostování, na které se v dnešní době z důvodu ekonomického tlaku ve výrobě průmyslových kompostů již zapomíná.

6. Seznam citované literatury

ALTMANN V., VACULÍK P., MIMRA M. (2010): Technika pro zpracování komunálního odpadu. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 120 s., ISBN 978-80-213-2022-2.

ALVARENGA, P., C. MOURINHA, M. FARTO, P. PALMA, J. SENGO, M-Ch MORAIS and C. CUNHA-QUEDA. Quality Assessment of a Battery of Organic Wastes and Composts Using Maturity, Stability and Enzymatic Parameters. *Waste and Biomass Valorization*. 2016, 7(3), 455-465. DOI: 10.1007/s12649-015-9468-y. ISSN 1877-2641.

BARTUNĚK D.: *Vliv technologie kompostování v městské kompostárně na kvalitu kompostu*. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2017. Diplomová práce.

BARTUNĚK D.: *Kompostování městské zeleně v městské kompostárně v Březnici*. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2014. Bakalářská práce.

CESARO, A., V. BELGIORNO and M. GUIDA. Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015, 94, 72-79. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.003. ISSN 09213449.

COLLINS H.P., PAUL E.A., PAUSTIAN K., ELLIOT E.T.: Characterization of soil organic matter relative to its stability and turnover. New York, CRC Press. Inc., 1997, pp. 52-54.

CROVETTO C.: No till, the stubble and the soil nutrition. In: GARCIA-TORRES L., BENITES J., MARTINEZ-VILELA A. (eds.): Conservation agriculture, a worldwide challenge: Keynote contributions. Madrid, Spain, XUL, 2001, pp. 15-24.

CHLUMSKÁ J.: *Vliv technologie kompostování na kvalitu kompostu*. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2017. Bakalářská práce.

DOMÍNGUEZ J., EDWARDS C. A., 2011: Relationships between composting and vermicomposting. In *Vermiculture Technology* (Eds C. A. Edwards, N. Q. Arancon & R. Sherman), Boca Raton: CRPC Press, Taylor & Francis Group, str. 11-25.

GEA, T., R. BARRENA, A. ARTOLA and A. SÁNCHEZ. Monitoring the biological activity of the composting process: Oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI), and respiratory quotient (RQ). *Biotechnology and Bioengineering*. 2004, 88(4), 520-527. DOI: 10.1002/bit.20281. ISSN 00063592

GRODA, B. *Technika zpracování odpadů*. Brno: ES MZLU, 1995, 260 s. ISBN 80-7157-164-4

HEJÁTKOVÁ K. *Řešení bioodpadu v regionu*, první vydání, Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad Oslovou, 2008, ISBN 80-903548-8-2.

HERMANN, B.G., L. DEBEER, B. De WILDE, K. BLOK a M.K. PATEL, *Polymer Degradation and Stability*. 2010. 108 s. ISBN 978-946-2610-040.

JUNGA, P., VÍTĚZ, T., VÍTĚZOVÁ, M., GERŠIL, M., 2015: *Technika pro zpracování odpadů II*, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 156 s.

KALINA M.: *Kompostování a péče o půdu* 1. vyd. — Praha: Grada Publishing, 1999, 109 s. ISBN 80-7169-697-8.

KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007. ISBN 978-80-86884-28-8

KHAN, A. A., de JONG, W., JANSSENS, P.J., SLPLIETHOF, H. *Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. Fuel Processing Technology*. 2009, vol. 90, issue 1, s. 21-50. DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.012

KIZLINK, Juraj. *Odpady: sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*. 3., upr. a rozš. vyd., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-884-7.

KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL, Stanislav. *Odpadové hospodářství*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2000. 193 s. ISBN 80-7040-449-3.

KOLLÁROVÁ M., *Výzkum vybraných podmínek přeměny zbytkové biomasy*. Lednice: MZLU Brno, 2007. str. 148. Disertační práce.

KOLLÁROVÁ, M., PLÍVA, P.: Kompostování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů. Uplatněná certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. 24 s. ISBN 978-86884-36-3.

KOTOULOVÁ, Z., VÁŇA, J. Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001. 69 s. Na pomoc praxi v odpadovém biohospodářství. ISBN 80-7212-201-0.

KURAŠ, Mečislav. Odpady a jejich zpracování. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.

LABRADOR J.: La materia organica en los agrosistemas. Madrid, Mundi presses, 1996, pp. 24-28.

LEDVINA R., KOUBALÍKOVÁ J., HORÁČEK J.: Geologie a půdoznalectví. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 1992, s. 45-55.

LEDVINA R., HORÁČEK J., ŠINDELÁŘOVÁ M.: Geologie a půdoznalství. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 1999, 200 s.

LÉTALOVA, M. 2008. Možnosti využití biologicky rozložitelných složek z komunálního odpadu. Diplomová práce, MZLU v Brně, 70 s.

LIVORA, M. 2010. Linka na zpracování biologického odpadu. Disertační práce, ČZU Praha, 120 s.

MACH, P., *Kompostování: Proces kompostování, Materiály vhodné pro kompostování, Mikroorganismy v procesu kompostování*. 2008.

MOŇOK, B. Komunitní kompostování. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s., 2008. str. 32. ISBN 80-903548-7-4.

PLÍVA, P. a kol. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Praha, 2006. 65 s. ISBN 80-86884-011-2.

PLÍVA, P. a kol. Kompostování v pásových hromadách na volné ploše. 1. Vyd. Praha 5, Smíchov, 2008. 136 s. ISBN 978-80-86726-32-8.

PLÍVA, P., V. ALTMANN, A. HANČ, K. HEJÁTKOVÁ, A. ROY a L. VALENTOVÁ. *Kompostování a kompostárny*. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 978-80-86726-74-8. POKORNÝ E., STŘALKOVÁ R., PODEŠVOVÁ J. (2002): Půdní sorpční komplex a jeho vlastnosti. Vybrané kapitoly z metodiky. Obilnářské listy, 10 (6): 121- 124.

POMMERESCHE, R., FIANSSEN, S., LOES, A.K.: Žížaly a jejich význam pro zlepšení kvality půdy. Bioinstitut. Olomouc . 2010, 23 s. ISBN 978-80- 87371-02 -2.

POSPÍŠILOVÁ L., TESAŘOVÁ M.: Organický uhlík obhospodařovaných půd: Folia Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně II (1). Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, 42 s.

RAVIV, M. *Can the Use of Composts and Other Organic Amendments in Horticulture Help to Mitigate Climate Change?*. Santiago, 2015, (1076), 19-28. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1076.1. ISSN 0567-7572.

RIBÉREAU-GAYON aj., (2006) Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Donèche B., Lonvaud A., *Handbook of Enology Volume 1 The Microbiology of Wine and Vinifications 2nd Edition*, John Wiley & Sons, Ltd, 2006, ISBN: 978-0-470-01034-1.

ŘÍMOVSKÝ K. (1994): Organické hnojení a úrodnost půdy. Úroda, 8: 8-9.

SAJNANATH, K., P. K. SUSHUMA. 2004. Recycling of bio-wastes through vermicomposting, Agrobios, Updesh Purohit for Agrobios, Jodhpur. pp. 33-35.

SCOTT, M. I., ABOU-ZAID, M., (2012): Pyrolysis Bio-Oils from Temperate Forests: Fuels, Phytochemicals and Bioproduct, In: CARRIER, Danielle Julie, Shri

RAMASWAMY a Bergeron., Chantal, BERGERON., CHANTAL., Biorefinery coproducts. Hoboken: John Wiley, 2012, xix, 361 s. ISBN 9780470973578.

SHARARA, A. M., CLAUSEN, C. E., CARRIER, J. D., (2012): An Overview of Biorefinery Technology. In: CARRIER, Danielle Julie, Shri RAMASWAMY a Bergeron., Chantal, BERGERON., CHANTAL., Biorefinery co-products. Hoboken: John Wiley, 2012, XIX, 361 s. ISBN 9780470973578

SCHAUMANN, G.E., THIELE-BRUHN, S., 2011: Molecular modeling of soil organic matter: quaring the circle? Geoderma 166, 1-14.

SCHILTHUIS, W. Biologicko – dynamické zahrádkářství v praxi. Praha: Éros, 1992. str 257. ISBN 80-901433-1-8.

SMOLÍKOVÁ, L., 1988: Pedologie. I. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

STOFFELLA, P. J., KAHN, B. A.: Compost Utilization in Horticulture cropping system. Lewis Publisher, USA, 2001.

STRAKA, František a kol. Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. 2., rozšíř. a dopl. vyd. Praha: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

ŠARAPATKA, B. (2014): Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.

TAN, K.H., (2003).: Humic matter in soil and the environment: Principles and controversies. Marcel Dekker, New York.

TESAŘOVÁ, M.: Biologické zpracování odpadů. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-420-4.

UHLÍŘOVÁ, H. 2007. Hodnocení provozu kompostárny. Diplomová práce, MZLU v Brně, 91 s.

VÁCHALOVÁ, R., L. KOLÁŘ a Z. MUCHOVÁ. *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. Nitra, 2016. ISBN 978-80-552-1467-2.

VÁŇA, J., *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. Vyd. 2. V Praze: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997. 38 s. Rostlinná výroba. ISBN 80-710-5144-6.

VEČEŘOVÁ, V.: *Zásady a pravidla registrace hnojiv podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů – zaměřeno na digestát*. 2008 ISSN: 1801–2655.

VOPRAVIL, J. a kolektiv: *Kniha o půdě – I. díl. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*, v.v.i., Praha, 2009, 148 s.

ZEMÁNEK, P., *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-52-3.

ZEMÁNEK, P. *Speciální mechanizace – mechanizační prostředky pro kompostování*. Brno: MENDELU v Brně, 2001. str. 114. ISBN 80-7157-561-5.

ZEMÁNEK, P., VEVERKA, V. 2007. *Ekonomika provozu kompostárny*. In *komunální technika*, roč. 1, č. 9, s. 48-49. ISSN 1802-2391

6.1. Internetové zdroje

ANGIMA, S., *Master Composting Program* [online]. Oregon: Oregon state university [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://extension.oregonstate.edu/lincoln/sites/def>.

ANONYM, Biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO) online (2018), [cit.2018-08-26]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/legislativa/biologicky-rozlozitelne-komunalni-odpady/>.

ALTMANN, Vlastimil: Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. *Biom.cz* [online]. 2010-08-18 [cit. 2018-01-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>>. ISSN: 1801-2655.

CELJAK, Ivo: Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2017-11-21]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jenezbytna-soucast-lidskeho-zivota>. ISSN: 1801-2655.

GERSHUNY, Grace. Compost, vermicompost, and compost tea: feeding the soil on the organic farm [online]. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., 2011 [cit. 2018-04-02]. Organic principles and practices handbook series. ISBN 978-1-60358-347-3. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=Xub8aChfFsIC&printsec=frontcover&dq=composting&hl=cs&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composting&f=false

HOUČEK, J., Registrace a ohlašování kompostu a digestátu využitelných na zemědělské půdě. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2012, [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008007/houcek_jaroslav.pdf

HULEŠ, L.: Kompostování v ohradách. *Biom.cz* [online]. 2007-10-14 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-v-ohradach>>. ISSN: 1801-2655.

MISRA, R.V., R.N. ROY a H. HIRAOKA. On-farm composting methods: Land and water discussion paper [online]. Roma: Food and Agriculture Organization of the

SLEJŠKA, A., VÁŇA, J. a R. HONZÍK,: Expertní systém pro organické hnojení na zemědělské půdě : Jak určím optimální surovinovou skladbu kompostu?. *Biom.cz* [online]. 2006-11-09 [cit. 2018-26-02]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/oh-zem.stm>>. ISSN: 1801-2655.

VAN DER WURFF, ANDRE W., FUCHS G., RAVIV M. a Aad J. TERMORSHUIZEN. Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture [online]. BioGreenhouse, 2016 [cit. 2017-11-25]. ISBN 9789462577497. Dostupné z: <http://edepot.wur.nl/375218>

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-2000-474-rostlinnekomodity.html, Online dne:28.11.2017